



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SAKARI KURRONEN
STANDARDEIHIN PERUSTUVA SUBJEKTIIVINEN SISÄIL-
MASTON LAADUN ARVIOINTI KÄYTTÄEN JATKUVAA
ASIAKASTYYTYVÄISYYSTIETOA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Timo Kalema
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvos-
ton kokouksessa 3.9.2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

KURRONEN, SAKARI: Standardeihin perustuva subjektiivinen sisäilmaston laadun arviointi käyttäen jatkuvaa asiakastyytyväisyystietoa

Diplomityö, 71 sivua, 1 liitesivu

Syyskuu 2014

Pääaine: Talotekniikka

Tarkastaja: professori Timo Kalema

Avainsanat: sisäympäristö, sisäilmasto, asiakastyytyväisyys, käyttäjätyytyväisyys, survey-metodiikka, sisäympäristön laatu, subjektiivinen arvio, psykometriikka

Rakennuksen sisäilmasto suunnitellaan yleensä ihmisen tehokasta ja mukavaa oleskelua varten. Suunnittelua ohjataan tietyillä olosuhdekriteereillä, jotka ovat luonteeltaan yksinkertaistuksia tieteellisestä käsityksestä siitä, kuinka viihtyisyys ja tehokkuus voidaan sisäilmaston olosuhteiden puitteissa saavuttaa. Kriteerien ongelma on se, että olosuhteiden subjektiiviseen kokemukseen vaikuttaa suuri joukko henkilöistä ja ympäristöstä riippuvia asioita, jotka eivät ole hyvänkään suunnittelun avulla ole arvioitavissa.

Sisäilmaston subjektiivista arviointia käytetään antamaan tietoa siitä, kuinka hyvin sisäilmasto palvelee käyttäjiään. Kyselyitä voidaankin pitää tarkimpana tiedonlähteenä, mikäli määritettävänä on kiinteistön käyttäjäkokemus- ja -tyytyväisyys. Kiinteistössä vallitsevan tyytyväisyyden määrittämiseksi on olemassa erilaisia malleja, mutta nämä antavat usein erilaista tietoa kyselyihin verrattuna.

Tässä diplomityössä haettiin menetelmää kiinteistön käyttäjien tyytyväisyyden määrittämiseen ja seurantaan. Menetelmän vaatimuksena on tieteellinen pätevyys, joka tarkoittaa standardien mukaisuutta sekä luotettavuutta. Suuressa osassa työtä olivat käytännön kokeet jossa kerättiin vastauksia julkisissa tiloissa sekä painonappijärjestelmillä että tablet-tietokoneilla. Ensimmäisessä kokeessa julkisissa opiskelukiinteistöissä järjestettiin yksinkertainen painonappikysely. Seuraavassa kokeessa käytettiin internetpohjaista kyselyä tablet-tietokoneella, johon oli mahdollista ohjelmoida tarkemmin sisäilmaston laatua arvioiva kysely. Viimeisessä kokeessa menetelmiä verrattiin toisiinsa hallituissa olosuhteissa. Myös olosuhteiden muutosten vaikutuksia verrattiin lähes identtisellä ryhmällä.

Työn tuloksena on mahdollista perustella millaisella menetelmällä ja millaisilla kyselyillä on mahdollista kerätä luotettavaa tietoa rakennuksen sisäilmastosta. Painonappikyselyitä ei voida pitää soveltuvana menetelmänä sisäympäristön olosuhteiden arviointiin. Tablet-tietokone mahdollistaa palautteen keräämisen interaktiivisuutta käyttäen ja palaute on myös mahdollista sitoa paikkaan ja aikaan.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering Technology

KURRONEN, SAKARI: Standard based subjective assessment of the the indoor climate quality using continuous user satisfaction data

Master of Science Thesis, 71 pages, 1 Appendix page

September 2014

Major: Building Services Engineering

Examiner: Professor Timo Kalema

Keywords: indoor environment, indoor climate, customer satisfaction, user satisfaction, survey methodology, Indoor environmental quality, subjective judgement, psychometrics

The indoor climate of buildings are usually designed for efficient and comfortable activity of people. Building design is often regulated with a certain set of indoor environmental criteria, which by their nature are simplifications of scientific view of how comfortable indoor climate can be attained. Problem of these criteria is that the subjective experience is affected by numerous things that depends on personal and indoor environmental matters, that are not controllable even with good design.

Subjective judgement of indoor environment is used to give information on how indoor environment is serving its purpose. Questionnaire surveys can be considered to be the most accurate measure when assessing user experience and satisfaction. There are various models for evaluation of user satisfaction, but often they give different results from actual questionnaires.

This thesis aimed to find method for monitoring user satisfaction in buildings. Criteria for the method is scientific validity, which means that the method must follow standards and must be reliable. Real life experiments in which survey answers were gathered in public premises both with push button system and tablet computers. The first experiment in the public educational buildings simple push button survey was organized. Next experiment was utilizing customizable internet-based tablet computer survey. In the last experiment survey methods were compared with each other in the climate-controlled environment. Also the effects of changes in the indoor climate were compared with nearly identical group.

As a result of this work it is possible to justify on with what kind of methods and surveys it is possible to gather reliable information about the indoor climate of the building. Push button surveys can not be considered as a reliable method to evaluate the indoor climate of the building. A tablet computer makes it possible to gather feedback using interactivity and it makes it possible to tie the feedback in the time and place.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty RYM Oy:n sisäympäristötutkimusohjelman osana. Tutkimusohjelmaan päädyin toimiessani tutkimusapulaisena entisellä Konstruktiotekniikan laitoksella. Siirryin sittemmin työskentelemään samaisessa tutkimusohjelmassa Schneider Electricin palvelukseen, joka myös rahoitti tutkimuksen. Tämän työn tekeminen on ollut pitkä, haastava ja jopa henkistä jaksamista koetteleva, mutta kuitenkin mielenkiintoinen suoritus.

Diplomityön tarkastajana toimi entinen esimieheni professori Timo Kalema, jota haluan kiittää kaikesta työhön liittyvästä avusta. Schneider Electricin puolelta työtä on ohjannut DI Antti Paulanne, kuka ansaitsee kiitokset hyvästä esimiestyöstä sekä ymmärryksestä työn pitkän keston ja vaihtoonlähtöpäätökseni tukemisesta, mikä osui keskelle diplomityön tekemistä ja osaltaan pitkitti sen valmistumista.

Haluan kiittää myös Hannu Myllymaata käytännön kokeiden suunnitteluavusta. Kiitokset myös tutkimusprojektin muille työmyyriille A-P:lle ja Maximelle. Jari Räikkönen on löysi uusia näkökulmia ja otti rohkeasti kokeiltavaksi tutkittavia menetelmiä.

Erikoiskiitokset äidille, siskolle ja isovanhemmille rakkaudesta ja tuesta. Kiitos edesmenneelle isälleni verestä. Ystäville ja tuttaville mielenkiintoisesta elämästä ja satumanvaraisuudelle mahdollisuuksista.

Tampereella 22.9.2014

Sakari Kurronen

SISÄLLYS

1. Johdanto	1
1.1 Aiheen taustaa	1
1.2 Työn tavoite ja rajaus	2
1.3 Työn suoritus	3
2. Sisäilmaa koskevat olosuhdekyselyt	5
2.1 Asiakastyytyväisyys	5
2.2 Sisäilmaston laadun kriteerit ja mittaaminen	7
2.2.1 Lämpötila ja lämpöviihtyisyys	9
2.2.2 Kosteusolot	10
2.2.3 Ilman epäpuhtaudet ja VOC	10
2.2.4 Hiilidioksidipitoisuus	11
2.2.5 Vedon tunne ja paikalliset epäviihtyisyystekijät	12
2.2.6 Valaistus- ja melutasot	12
2.3 Anturien käyttö tyytyväisyyden arvioinnissa	13
2.3.1 Lämpötasemallit	13
2.3.2 Adaptiiviset mallit	15
2.4 Kyselyiden käyttäminen asiakastyytyväisyyden määrittämisessä	17
2.5 Vastausasteikkojen luokittelu	18
2.5.1 Asteikon napaisuus	20
2.5.2 Kategoriset asteikot sisäilmaston luodun tutkimisessa	21
2.5.3 Visuaalisanalogiset asteikot sisäilmaston laadun tutkimisessa	23
2.6 Käyttäjätyytyväisyyden määrittäminen vastausten perusteella	24
2.7 Standardinmukainen kysely ja sisäympäristön luokittelu	25
2.8 Käyttäjätyytyväisyyden määrittäminen eri sertifiointijärjestelmissä	27
2.8.1 LEED	27
2.8.2 Rakennusten elinkaarimittarit	28
2.8.3 Miljöbyggnad	30
2.9 Tilastollisia seikkoja	31
2.9.1 Otanta ja otoskoko	31
2.9.2 Vastaamattomuusvinouma	33
2.9.3 Vastausten määrää ja laatua ylläpitävät toimenpiteet	33
3. Tutkimusmenetelmän kuvaus	35
3.1 Eri palautteenkeruun tasot	35
3.1.1 Tason 1 tyytyväisyystutkimuksen suorittaminen	36
3.1.2 Tason 2 tyytyväisyystutkimuksen suorittaminen	37
3.2 Käytetyt olosuhdemittaukset	38
4. Kenttäkokeet	41

4.1	Tason 1 kyselyjen kvantitatiivinen analyysi	41
4.1.1	Vastausmäärien kehittyminen	42
4.1.2	Kyselyjen tulokset toimistokiinteistöissä	44
4.1.3	Kyselyjen tulokset luento- ja harjoitussaleissa	47
4.2	Tason 2 kyselyjen vastausten analyysi	49
4.2.1	Ammattikorkeakoulu	49
4.2.2	Toimistorakennus	50
4.3	Luentosalikoe	53
4.3.1	Mittaus- ja kyselyjärjestelyt	53
4.3.2	Kyselyvastausten analysointi	57
4.3.3	Tyytyväisyys termiseen ympäristöön	58
4.3.4	Tyytyväisyys ilman laatuun	59
4.3.5	Eri tekijöiden merkitys vastauksiin	60
5.	Johtopäätökset	64
	Lähteet	67
	Liitteet	72

MERKINNÄT, YKSIKÖT, LYHENTEET JA TERMIT

Symbolit

d	keskiarvon virhemarginaali
I	Eristävyys
n	lukumäärä
p	standardinormaalijakauman kertymäfunktion arvo
s	populaatiokeskihajonta
t	t-jakauman arvo
\bar{x}	keskiarvo
λ	Adaptiivinen kerroin

Alaindeksit

cl	vaatetus
nr	vastaamattomat
pop	populaatio
res	vastanneet

Yksiköt

$^{\circ}C$	Celsius-aste
clo	Vaatetuksen eristävyys = $0.155Km^2/W$
lux	Luksi
Met	Metabolinen ekvivalentti
ppm	miljoonasosa
W	Watti

Lyhenteet

AMV	Actual mean vote, ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla annettujen lämpötuntemusarvioiden keskiarvo
PMV	Predicted mean vote, ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla annettujen lämpötuntemusarvioiden lämpötasemallia käyttäen ennustettu keskiarvo
PPD	Predicted percentage of dissatisfied, Ennustettu tyytymättömien prosentuaalinen osuus

Termit

ASHRAE-häntäosuudet	Tyytymättömien osuus laskettuna ASHRAE-asteikolla siten, että tyytymättömiksi tulkitaan kategorioita Kuuma, Lämmin, Kylmä ja Viileä vastanneet henkilöt
ASHRAE-lämpötuntemus-asteikko	Perinteinen lämpötuntemuksen arviointiin käytetty asteikko, jossa on vastausvaihtoehdot: Kylmä, viileä, viileähkö, neutraali, lämpimähkö, lämmin ja kuuma
Kertymäfunktio	Todennäköisyysjakauman kertymäfunktio kertoo, kuinka suuri osuus todennäköisyysjakaumasta on alle satunnaismuuttujan arvon
Keskisäteily-lämpötila	Sellaisen kuvitteellisen tilan tasainen lämpötila, jossa ihminen siirtää säteilemällä saman määrän säteilyä, kuin oikeassa epätasalämpöisessä tilassa
Kuormitus	Tilan epäpuhtauksien ja lämmön lähteet, kuten ihmiset
Käyttäjä	Rakennuksessa työskentelevä, opiskeleva tai muuten pitkähköjä ajanjaksoja oleskeleva ihminen
Luottamustaso	Tilastollisessa laskennassa kaikki on mahdollista luottamustaso kertoo kuinka suurella varmuudella voidaan väittää esimerkiksi keskiarvon olevan tietyllä välillä
Operatiivinen lämpötila	Sellaisen kuvitteellisen mustan tilan tasainen lämpötila, jossa ihminen siirtäisi saman määrän lämpöä, kuin oikeassa epätasalämpöisessä tilassa. [52]
Populaatio	Populaatioksi kutsutaan kaikkia, jotka kuuluvat ryhmään, josta tilastollisia päätelmiä tehdään. Voi olla esimerkiksi kaikki tietyn rakennuksen käyttäjät
Regressori	Matemaattisen mallin riippumaton muuttuja, jonka vaikutusta mallin vasteeseen tutkitaan

Satunnais- muuttuja	Yksittäinen tilastollisen otoksen alkio
Sisäilmasto	Sisäilman lämpötiloista, ilman liikkestä ja ilman kemiallisesta koostumuksesta koostuva ilman laadullinen kokonaisuus
Sisäympäristö	Sisäympäristö sisältää kaikki sisäympäristössä olevat ja ihmiseen vaikuttavat tekijät, kuten valaistus, sisustus, akustinen ympäristö ja sisäilmasto
Uusi efektiivinen lämpötila	ET^* sen tasalämpöisen tilan lämpötila, jossa suhteellisen kosteuden ollessa 50 % henkilön nettolämmönsiirto (konvektio, säteily, haihtuminen) on sama kuin tarkasteltavan tilan [47]

1. JOHDANTO

1.1 Aiheen taustaa

Ilmanlaadun subjektiivisen arvioinnin mielekkyyden pohtiminen johtaa filosofisiin kysymyksiin. Onko objektiivinen vai subjektiivinen tieto tärkeämpää? Miksi emme pärjäisi objektiivisilla mittauksilla? Voidaanko subjektiiviseen arvioon luottaa, koska subjektiivinen arvio sisältää luonteensa vuoksi tietyn määrän epätarkkuutta? Näiden kysymysten arviointi jää kiinteistön omistajan vastuulle.

Viihtyisyyden parantaminen on kyseenalaistettu [48] ja käännetty pääläelleen. Onko järkevää yrittää saavuttaa täydellisiä sisäolosuhteita, joiden saavuttaminen suurelle joukolle erilaisia ihmisiä on mahdotonta, vai olisiko järkevämpää rohkaista ihmistä ottamaan rooli aktiivisena toimijana, joka osaa säätää itse olosuhteitaan esimerkiksi vaatetustaan muuttamalla kun perusasiat ovat kohdallaan.

Tyypillisesti ilmalle annetaan teknisesti tiettyjä määritelmiä, joiden mukaisesti hyvä sisäilma määritellään. Rakennuksen omistajan kannalta sisäilman laatu heijastuu sen käyttäjien tyytyväisyyteen. Viihtyisyyden määrittäminen on osoittautunut haasteelliseksi eikä sen määrittämiseksi ole kehitetty vielä täysin yhdenmukaista menetelmää.

Huono sisäilma aiheuttaa lievimmillään tyytymättömyyttä olosuhteisiin ja pahimmillaan terveysongelmia.[46] Huono ilman laatu voi aiheuttaa myös laitevahinkoja.[45] Toimistotyön tuottavuus paranee 1,5% kun tyytymättömien osuus laskee 10%. [59; 26] Tuottavuuden parantuminen on hyvä peruste sisäilman laadun parantamiseen tähtääville investoinneille. Jos henkilön palkkakustannuksista tuottavan työn osuus on 60 000 euroa vuodessa tarkoittaa tuottavuuden parantuminen 3% 1800 euroa vuodessa. Sadan toimistotyöntekijän toimipisteessä tämä tarkoittaa 180 000 euroa vuodessa. Työntekijöiden palkkakustannukset ovat tyypillisesti 100-kertaisia yläpitokustannuksiin verrattuna. Huonosta sisäilmastosta johtuen sairastavat ihmiset tuovat myös kustannuksia yritykselle. Hyvän sisäympäristön ja energiatehokkuuden on tutkittu nostavan kiinteistön arvoa, vuokratuloja ja käyttöastetta. [50]

Schneider Electricin TNS Gallupilla teettämässä kyselyssä sanasta sisäolosuhteet ensimmäisenä mieleen tullut käsite oli laajalti ilmanlaatu. [16] Sisäilmaston laatua voidaan tutkia objektiivisesti erilaisin lämpötila- ja partikkelimittauksin. Pätevin mittari subjektiiviseen sisäilmaston laadun tutkimiseen on tyytyväisyys. Ihmisen subjektiivinen kokemus ei ole pääteltävissä ilman olosuhteista kovinkaan tarkasti.

Nykyiset säädökset ohjaavat sisäilmaston hallintaa pitkälti hyvin teknisillä määrittelyillä. Tyytyväisyyden määrittämistä on mahdollista käyttää työkaluna energia- tehokkuuden ja kovien mittareiden perusteella määriteltyjen olosuhteiden muuttamiseen siten että energiaa käytetään vähemmän.

Kiinteistöille tehdään käyttöönoton jälkeen käyttöönottotarkastuksia, joissa käydään läpi kiinteistön saavuttamaa toteutustasoa verrattuna kiinteistölle alun perin asetettuihin tavoitetasoihin. Käyttäjien kokemaa tyytyväisyys on merkittävä tekijä arvioinnin kannalta ja se on yksi merkittävimmistä Key Performance Indicatoreista. Hyvälaatuinen käyttöönotto on tärkeä pohja rakennuksen suorituskyvyn seuraamiselle.

Green Building Council Finlandin kehittämän suomalaisen rakennusten elinkaarimittariston yhteydessä asiakastyytyväisyyden mittaamisesta sanotaan seuraavaa: ”Käyttäjätyytyväisyys soveltuu hyvin sisäympäristön laatua kuvaavaksi mittariksi omistajan ja ylläpidon tavoitteiden asettamiseen ja seuraamiseen sekä omistajan ja vuokralaisen väliseen kommunikointiin.” [7] Rakennuksissa Sisäympäristön laatu on yksi tärkeistä sosio-kulttuurisista avainsuoritusindikaattoreista pohjautuen sen vaikutuksiin koko elinkaaren ajalla. [1]

Tämä diplomityö on osa RYM sisäympäristötutkimusohjelmaa, jonka tavoitteena on löytää ratkaisuja, joilla edistetään tilan käyttäjien tuottavuutta, viihtyvyyttä ja terveyttä ekologisesti kestäväällä tavalla. [43] Se liittyy tutkimusohjelman Työpakettiin 2, jonka keskeinen sisältö liittyy sisäympäristön käyttäjäkeskeiseen optimointiin ja räätälöintiin. Tavoitteena on integroida sisäympäristöjen suunnittelu strategisen tilasuunnittelun ydinprosesseihin erityisesti oppimistiloissa.

Diplomityö liittyy oppimisen ja uuden tiedon luomisen tilojen Task2:en. Taskin tavoitteet ovat uusien suunnitteluratkaisujen kehittäminen tulevaisuuden kampuksille. Task 2:ssa kehitetään myös työkaluja näiden ratkaisujen arviointiin. Työkaluna käytetään todistepohjaisia demoja tarkoittaen, että uusia ratkaisuja kokeillaan oikeilla kampuksilla ja arvioidaan niiden onnistumista.

Task 2.2 on Task 2:en osio, joka on painottunut tutkimuksessaan nimenomaan talotekniikan teknisten ratkaisujen puolella oppimista tukevan hyvän sisäilmaston luontiin sekä energian säästämiseen. Task 2.2 :ssa on ollut mukana Suomen yliopistokiinteistöt, TTY:n Kone- ja tuotantotekniikan laitos(ent. Teknisen suunnittelun laitos, ent. Konstruktiotekniikan laitos), Schneider Electric sekä asiantuntijana Hannu Myllymaa. ISS Proko oli myös mukana, mutta vetäytyi myöhemmin hankkeesta.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tässä diplomityössä etsitään menetelmää sisäympäristön laadun ja tyytyväisyyden tason selvittämiseen ja seuraamiseen, siten että menetelmä täyttää alan tärkeimpien standardien ja ohjeistuksen kriteerit. Erityinen mielenkiinto kohdistuu tyytyväisten

ihmisten osuuden arviointiin tutkittavassa ympäristössä.

Työssä selvitetään objektiivisiin mittauksiin sekä subjektiivisiin kyselyihin perustuvia menetelmiä. Vaikka viitekehys sisältää subjektiivisen sisäympäristön laadun arvioinnin suorittamiseen, päähuomio kiinnitetään sisäilmaston laadun arviointiin. Suurin osa menetelmistä on myös sovellettavissa muihin sisäympäristön osaluaisiin. Teoriapohjaa haetaan tyytyväisyyden määrittämisestä ja asiakastyytyväisyydestä. Myös tilastolliset tekijät ja kyselytutkimuksiin liittyvät teoriat tarjoavat teoreettista taustaa tutkimukselle.

Sisäympäristötutkimusohjelmassa on tarkoitus etsiä nimenomaan tieteelliseen teoriaan pohjautuvia käytännön ratkaisuja. Suuri osa työstä pohjautuu oikeiden kyselydemojen tekemiseen ja menetelmien kokeiluun käytännössä. Tutkimusohjelman Task 2 keskittyy oppimistiloihin ja tästä syystä demot ja menetelmät testataan nimen omaan oppimis- ja työskentely-ympäristöissä. On kuitenkin huomattava, että tuloksia on mahdollista hyödyntää myös laajemmalla sektorilla. Schneider Electric on rahoittanut tutkimustyön ja työn teoriaa sovelletaan käytäntöön. Tämän diplomityön pohjalta on kehitetty palvelutuote täydentämään Schneider Electrin palveluvalikoimaa. Myös sisäympäristötutkimusohjelman yksi tavoitteista [43] on seuraava:

"Ohjelmaan osallistuvat yritykset hakevat ennakkoluulottomasti uusia markkinoita tulevaisuuden sisäympäristöistä, joihin ihmiset menevät virkistymään ja edistämään hyvinvointiaan."

1.3 Työn suoritus

Diplomityön suoritus lähti liikkeelle käytännön käyttäjäkyselyiden demoamisesta. Demojen kautta aihe osoittautui lupaavaksi ja kiinnostavaksi. Lopulta aiheeksi muodostui sisäilmastokyselyiden suorittaminen suorittamalla ne alan eri standardien ja ohjeistuksen mukaisesti. Teoria on pyritty keräämään luotettavista kirjoista sekä vertaisarvioituista tieteellisistä artikkeleista.

Työ jakautuu luvun 2 kirjallisuusselvitykseen tyytyväisyyden selvittämiseksi sekä luvuissa 3 ja 4 käsiteltäviin käytännön koejärjestelyihin. Kirjallisuusselvityksessä käsiteltävistä asioista saa hyvän kuvan sisällysluettelosta. Koska tavoitteena oli kehittää menetelmäkäytännön kyselyihin, olennainen osa työssä oli käytännön kyselyt. Käytännön kyselyitä suoritettiin yhteensä kolmella menetelmällä. Luvussa 3 kuvataan käytetyt tutkimusmenetelmät ja luvussa 4 analysoidaan näistä saatuja tuloksia.

Ensimmäinen datankeruumenetelmä oli painonapeilla kerätty data. Laitteita testattiin pitkän aikaa yliopiston, ammattikorkeakoulun sekä erilaisten toimistojen tiloissa. Diplomityön lähteenä käytetty data on kerätty marraskuusta 2012 helmikuuhun 2013. Toinen datankeruumenetelmä perustui kosketusnäytölliseen kyselylaitteeseen ja tällä menetelmää dataa kerättiin syyskuusta 2013 helmikuuhun 2014.

Valvotuissa olosuhteissa tehty kyselytutkimus suoritettiin valvotuissa olosuhteissa TTY:n luentosalissa Huhtikuussa 2013. Tutkimusta varten suunniteltiin myös toista valvotuin olosuhtein tehtyä koetta, mutta tämä ei teknisten järjestelmien toimimattomuudesta johtuen ollut mahdollista.

2. SISÄILMAA KOSKEVAT OLOSUHDEKYSELYT

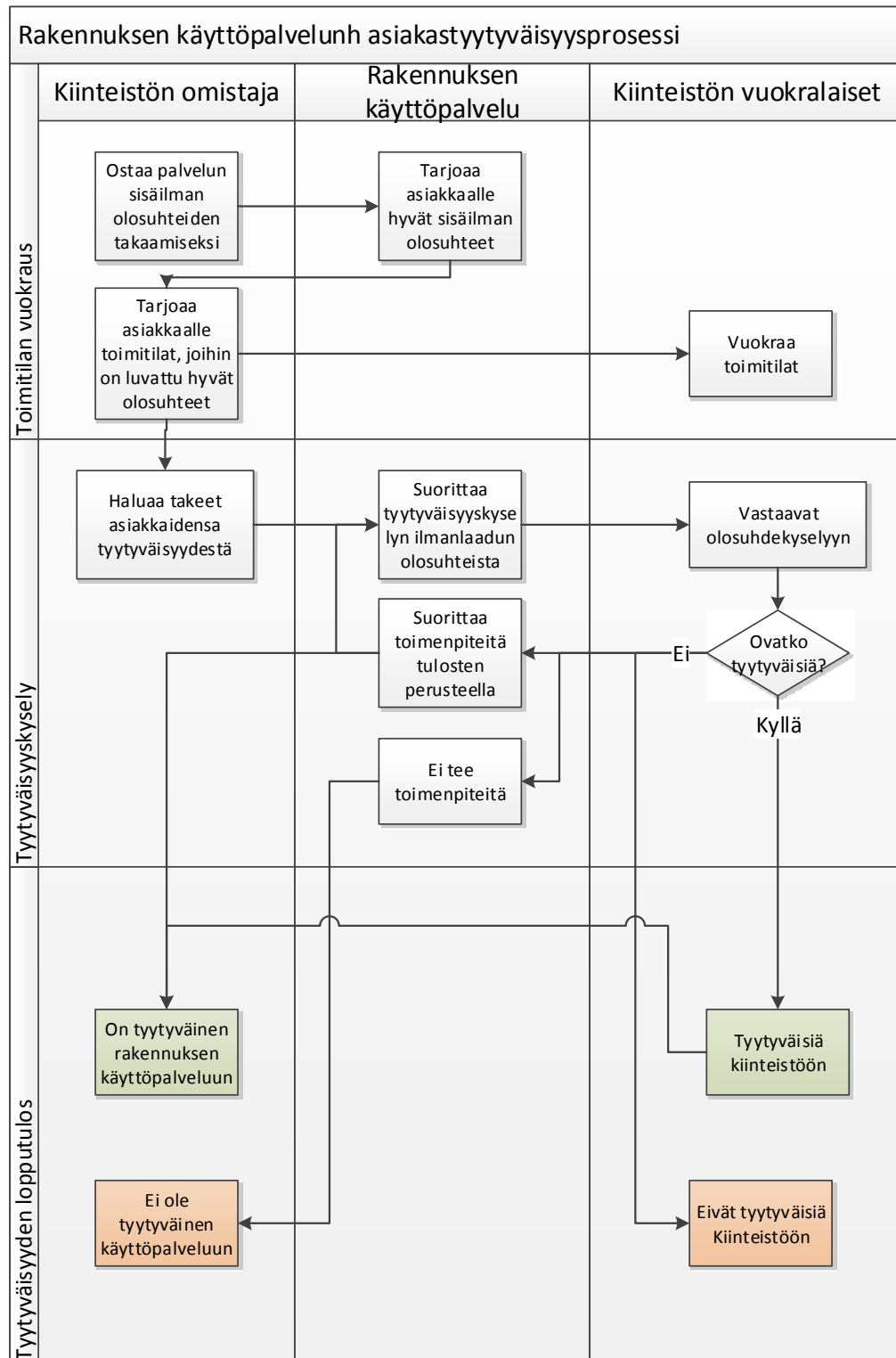
Standardi EN 7730: "Lämpöolojen ergonomia. Lämpömukavuuden analyttinen määrittäminen ja tulkinta käyttäen laskettuja PMV- ja PPD-indeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta"[52] sisältää ohjeistuksen määrittää tyytyväisten osuus mittauksista ja yksilöllisistä ominaisuuksista riippuen. Standardin teoria pohjautuu pääosin Per Ole Fangerin kehittämään PMV-PPD malliin sekä paikallisten epäviihtyisyystekijöiden viihtyisyysvaikutuksiin. Standardi EN 15251: "Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet"[54] sisältää kriteereitä sisäympäristölle ja kriteeristö on suunnittelun apuvälineeksi tarkoitettu. Subjekttiivinen arviointi on standardin menetelmissä pienehkössä osassa. Tässä diplomityössä käsitellään näiden kriteerien suhdetta koettuun sisäympäristöön.

Tässä luvussa käydään läpi eri tekijöitä, jotka vaikuttavat ihmisen kokemaan sisäilmastoon. Lisäksi käsitellään erilaisia malleja tyytyväisyyden laskennalliseen määrittelyyn olosuhdetietojen perusteella. Luvussa käsitellään myös laajasti kyselyiden suorittamisen teoriaa sekä asioita, joita on otettava asian tilastollisessa käsittelyssä huomioon.

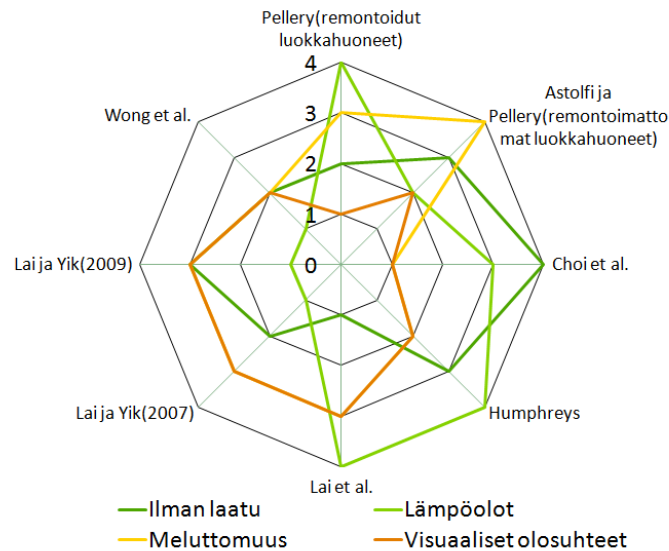
2.1 Asiakastyytyväisyys

Tyytyväisyys on luonteeltaan tunneperäinen vaste ja kuluttajan ostamisen jälkeinen arvio siitä, että tuote, palvelu tai ominaisuus täyttää asiakkaan odotukset miellyttävissä määrin.[38] Odotukset on asiakkaan ennakkokäsitys tuotteesta. Tyytyväisyys ja tyytymättömyys liittyvät vahvasti odotusten ylittymiseen ja alittumiseen. Oliverin tyytyväisyysteoria liittyy juuri odotusten ja koetun tyytyväisyyden suhteeseen. [37] Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että absoluuttisella tuotteen hyvyydellä ei ole merkitystä, mikäli kuluttajalla on liian suuret tai pienet odotukset tuotetta kohtaan. Odotukset määrittävät tuotteen koetun hyvyyden.

Laadunhallinnan standardeissa [51; 53; 55], asiakkaat ovat jatkuvan parantamisen prosessin keskiössä. Asiakkaat ovat yrityksen toiminnan ajureita ja toiminnan tulokset mitataan asiakastyytyväisyytenä. [17] Tavanomaisesti yrityksissä analysoidaan taloudellisen tuloksen rinnalla jollain tavalla mitattuja asiakastyytyväisyyslukuja sillä asiakastyytyväisyys ja odotettu tulos ovat toisistaan riippuvaisia.



Kuva 2.1: Prosessikaavio sisäilman laadun seurannan vaikutuksista asiakstyytyväisyyteen.



Kuva 2.2: Yritys selvittää eri ilmanlaatutekijöiden tärkeysjärjestys. Suurempi luku merkitsee tärkeämpää tekijää. Uudelleenpiirretty lähteestä [15]

Tyytyväisyysmallien näkökulmasta yrityksillä on tuote tai palvelu, jota tarjoamalla asiakas pysyy tyytyväisenä. Nykypäivän alihankkijaverkostoissa asiakkailla on asiakkaita ja asiakkaiden asiakkaitten tyytyväisyys voi olla olennaista yrityksen toiminnalle. Tämä on tilanne taloteknisiä käyttöpalveluita toimittavien yritysten kohdalla. Asiakas ostaa palvelun kiinteistöön, jotta kiinteistö tukisi hänen vuokralaisensa viihtyisyyttä. Nyt asiakkaan tyytyväisyys on riippuvainen hänen vuokralaisensa tyytyväisyydestä. Ja käyttöpalveluita toimittavan yrityksen tulos riippuu välillisesti asiakkaan vuokralaisen tyytyväisyydestä. Tämä tekee myös käyttöpalveluita tarjoavan yrityksen kiinnostuneeksi vuokralaisista. Tämä prosessi on kuvattu kuvan 2.1 kaaviossa. Mikäli asiakas ei halua tehdä korjaavia toimenpiteitä vuokralaisensa tyytyväisyyden parantamiseksi, asiakkaan voidaan katsoa olevan tilanteeseen tyytyväinen ja asiakasta palvellaan hänen toivomallaan tavalla.

2.2 Sisäilmaston laadun kriteerit ja mittaaminen

Sisäilmasto on huoneessa vaikuttavien kemiallisten, fysikaalisten yms. olosuhteiden kokonaisuus. Rakennuksen sisäilmaston hallinnan voi jakaa luontevimmin lämpöolosuhteiden sekä ilman puhtauden hallintaan. Sisäympäristö on laajempi käsite sisältäen kaikki sisäympäristötekijät meluisuudesta tilan määrään. Tilan sisäilmaston laatuun suhtautumiseen vaikuttavat myös muut sisäympäristötekijät ja psykologiset tekijät. Tyytyväisyys ilmanlaatuun on osin sosiaalinen rakenne johon vaikuttaa yksilöllisten tekijöiden lisäksi ulkoiset tekijät, kuten esimerkiksi työyhteisön yhteishengen puute.

Taulukko 2.1: Eri sisäympäristön ominaisuuksien jaottelu pakollisiin, houkutteleviin ja proportionaalsiin tekijöihin tutkimuksen mukaan. [25]

Pakolliset tekijät	Houkuttelevat tekijät	Proportionaaliset tekijät
Lämpötila	-	Ilman laatu
Äänitasot		Valon määrä
Tilan riittävyys		Visuaalinen mukavuus
Visuaalinen yksityisyys		Ääniyksityisyys
Huonekalujen säädettävyys		Kanssakäynnin helppous
Värit ja tekstuurit		Sisustuksen mukavuus
Puhtaus		Rakennuksen puhtaus
		Rakennuksen kunnossapito

Eri sisäympäristön ominaisuudet eivät vaikuta yhtäläisesti kokonaisarvioon sisäympäristöstä. Eri tekijöiden vaikutusta ei tunneta tarkasti ja aiheesta on monia tutkimuksia. Monika Frontczak ja Pawel Wargocki tekivät aiheesta kirjallisuusselvityksen, jonka mukaan usein lämpöviihtyisyys nousee tärkeimmäksi yksittäiseksi tekijäksi kokonaistyytyväisyyden kannalta [15]. Kuvassa 2.2 on esitetty eri tekijöiden suhteita useissa eri tutkimuksissa. Humphreys huomauttaa tutkimuksessaan, että vaikka eri tekijöille löydettäisiin painokertoimet, ei voi olettaa että ne pysyvät vakioina eri ihmistyhmillä tai edes samalle ajan kuluessa [23]. Kanon tyytyväisyysmallissa erilaiset tuotteen hyvyttä luokittelevat tekijät voidaan jakaa ryhmiin sen perusteella, kuinka eri tekijöiden koettu huonous tai hyvyys vaikuttaa tuotteesta tehtyyn kokonaisarvioon. Tuotteen eri ominaisuudet jaetaan tässä mallissa vaikutuksiensa perusteella viiteen eri ryhmään [17].

1. **Pakolliset tekijät:** Tuotteen oletusarvoiset ominaisuudet, jotka puuttuessaan aiheuttavat tyytymättömyyttä. Asiakkaat pitävät näitä itsestäänselvinä ominaisuuksina.
2. **Proportionaaliset tekijät:** Aiheuttaa tyytyväisyyttä ollessaan tuotteessa ja tyytymättömyyttä jos sitä ei ole. Ovat asiakkaille tärkeitä vertailtaessa tuotteita.
3. **Houkuttelevat tekijät:** Aiheuttavat tyytyväisyyttä, mutta eivät tyytymättömyyttä, vaikka niitä ei olisikaan.
4. **Yhdentekevät tekijät:** Ominaisuudet, joilla ei ole vaikutusta tyytyväisyyteen.
5. **Käänteiset tekijät:** Käänteinen proportionaalisille, aiheuttaa tyytymättömyyttä ja pois ollessaan tyytyväisyyttä.

Kim ja deDear tutkivat sisäympäristön osatekijöiden jakautumista pakollisiin, proportionaalsiin ja houkutteleviin ominaisuuksiin. [25] He saivat taulukon 2.1 mukaisen tekijöiden jaottelun mm. lämpötilan, meluttomuuden ja puhtauden huomattiin kuuluvan pakollisiin ominaisuuksiin ja mm. ilmanlaadun huomattiin olevan proportionaalinen tekijä. Houkuttelevia ominaisuuksia tutkituista sisäympäristötekijöistä ei löytynyt. Ilman laadun hallinnan kannalta tämä tarkoittaa sitä, että lämpötilalle riittää sopiva säätöarvo, mutta hyvä ilmanlaatu voi olla entistä viihtyisämpien tilojen luomisen kannalta yksi avaintekijöistä. Tutkimuksessa ei ollut mukana esimerkiksi lämpötilan vaihtelevuutta mukana, joka voi olla myös tyytyväisyyden tasoa muuttava tekijä.

2.2.1 Lämpötila ja lämpöviihtyisyys

Suosituin maaritelma lämpöviihtyisyydelle löytyy ASHRAE standardista 55,

"Thermal comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment"

Tätä voidaan tulkita niin, että mikään tekninen kriteeri ei määrittele ns. oikeita sisäilman lämpöolosuhteita. Lämpötuntemus on ihmisten aistien ja kokemusten summa. Jos henkilön lämpöolosuhteet saadaan viihtyisiksi, ovat lämpöolot myös väistämättä riittävän terveelliset, joten lämpöolosuhteiden hallinta on rakennuksissa viihtyisyyspohjaista. Lämpöolosuhteet ovat myös mahdollisesti epäterveelliset, mutta ihminen ei tunne viihtyisyyttä tällaisissa olosuhteissa.

Lämpöviihtyisyyteen vaikuttavia sisäilman ominaisuuksia ovat operatiivinen lämpötila, säteilylämpötilan epäsymmetria, pystysuuntainen lämpötilaero, lattian pintalämpötila ja kosteus. Nämä tekijät ovat ns. syötteitä ihmisen subjektiiviselle kokemukselle lämpötilasta. Lämpöaistimukseen vaikuttavia tekijöitä nähdään olevan suoran lämpötilan, ihon kosteusaistimuksen, kehon lämpötilat kehon sisällä ja vaadittavat lämpötilan säätelytoimenpiteet.[39].

Ihmisen lämmönsäätelyjärjestelmässä toivottu lämpötila ei ole sama eri ihmisillä tai edes samoilla ihmisillä eri tilanteissa. Kaikkia tyydyttävää lämpötilaa ei ole mahdollista saavuttaa. Tavanomaisesti hyväksytään kuitenkin, että noin 10 % ihmisistä ei ole tyytyväisiä lämpöoloihinsa. [54] Ihmisen kannalta merkittävimmät lämpötilasuureet ovat operatiivinen lämpötila sekä uusi efektiivinen lämpötila. Operatiivinen lämpötila ottaa huomioon sekä säteilyn että konvektion vaikutuksesta ympäristöön siirtyvän lämpömäärän. Uusi efektiivinen lämpötila ottaa huomioon lämpötilan ja kosteuden vaikutukset. Termisen ympäristön kokemiseen vaikuttavat myös sykliset lämpötilanmuutokset sekä lämpötilan muuttuminen ajan suhteen.

Tärkeitä tekijöitä lämpöviihtyisyyden kannalta ovat myös ihmisen aktiivisuustaso sekä vaatetuksen määrä. Kehon lämpötilan tulee olla lämmön tuoton ja ym-

päristöön siirtyvän lämmön suhteen tasapainossa, siten että ruumiinlämpö säilyy ilman suurta säätelytarvetta, kuten hikoilua tai värisemistä. Raskasta työtä (kehon lämmöntuotto yli 400 W), tekeväälle ihmiselle suositeltu lämpötila-alue on 12–17 °C, kun taas istuma-työtä tekevillä (lämmöntuotto alle 150 W) suositellut lämpötilat ovat 21–25 °C. [57] Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 velvoitetaan suunnittelemaan viihtyisä huonelämpötila käyttöaikana, siten ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Suunnittelun ohjearvoksi annetaan 21 °C lämpötila muutamien poikkeuksin. Poikkeama ohjearvosta voi olla ± 1 °C. Nämä ohjearvot eivät kuitenkaan ole velvoittavia.

Psykologisista tekijöistä lämpöviihtyisyyteen voi kirjallisuusselvityksen mukaan vaikuttaa esimerkiksi ihmissuhteet, koulutustaso sekä aikapaine. Lämpöviihtyisyyteen ei kuitenkaan vaikuta sisustus tai valaistuksen väri.

2.2.2 Kosteusolot

Eurooppalaiset standardit eivät käsittele kosteutta viihtyisyystekijänä mainintaa enempää. Kosteuden aiheuttama epäviihtyvyys nähdään niin pienenä, ettei sitä kannata laskea mukaan. Kosteuden suorista vaikutuksista viihtyisyyteen on ristiriitaista tutkimustietoa. On ilmeistä että kosteudella on pieni vaikutus tyytyväisyyteen, mutta vaikutuksen määrää ei ole yksiselitteisesti pystytty määrittämään. [14]. Kosteus on otettu mukaan standardin EN 7730: "Lämpöolojen ergonomia. lämpömukavuuden analyttinen määrittäminen ja tulkinta käyttäen laskettuja PMV- ja PPD indeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta" PMV indeksin laskentaan, jossa kosteuden nousun 10 % vaikutus arvioidaan olevan 0,3 °C (lämpötiloissa < 26 °C aktiivisuustasoilla $< 2\text{met}$) [52]

Kosteus vaikuttaa kosteuden haihtumiseen iholta, joka kuumissa olosuhteissa tai raskasta työtä tekevillä vaikuttaa lämpötuntemukseen. Uusi efektiivinen lämpötila ottaa huomioon kosteuden vaikutuksen lämpötuntemukseen.

Viihtyisyysnäkökohtia tärkeämmät kosteudenhallinnan kriteerit liittyvät ilman terveellisyyteen. Alhaiset kosteusolosuhteet voivat aiheuttaa esimerkiksi hengitystiesairauksia ja pölyisyyttä. Korkeassa kosteudessa puolestaan on otollinen elinympäristö sienille, pölypunkeille ja muille mikrobeille. Terveysnäkökohtien mukaan suhteellisen kosteuden voi antaa vaihdella välillä 25–60 %. Optimalue suhteelliselle kosteudelle on noin 40 %. Ilman kosteutta voidaan hallita ilmanvaihdon kostutuksen ja kuivaamisen keinoin. [47]

2.2.3 Ilman epäpuhtaudet ja VOC

Huono ilmanlaatu ei ole vain epätyytyväisyyttä aiheuttava tekijä, vaan myös potentiaalinen terveysriski. Huono ilmanlaatu aiheutuu liian suuresta määrästä joko

epäterveellisiä tai epämiellyttävän hajuisia yhdisteitä. Huonoa ilmanlaatua aiheuttavat useat hiukkaset, kaasut, höyryt, bioaerosolit, savu sekä pöly. Jos ilmassa on jotain ilmanlaatua huonontavaa, siihen on ilmanvaihdon tai esimerkiksi radonputkituksen kautta tehtävä ilman laatua parantavia toimenpiteitä. Tämän työn aihepiiriin kuuluvat lähinnä ihmisperäiset ja materiaaliperäiset aineet, jotka aiheuttavat epämiellyttävyyttä. Ilmanlaatua voi huonontaa myös ilmanvaihdon kautta sisäilmaan tulevat epäpuhtaudet.

Ilmanlaatua huonontavaa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisuutta kutsutaan nimellä Volatile Organic Compounds (VOC). Näiden yhdisteiden yhteinen ominaisuus on, että ne ovat huoneenlämmössä haihtuvia yhdisteitä. Laajemmin nähtynä VOC:t ovat eri yhdisteitä ja päästöjä, mutta sisäilmaston laadun yhteydessä niillä tarkoitetaan ihmisistä, materiaaleista, prosesseista sekä koneista haihtuvia yhdisteitä. Epäterveellisissä määrin VOC aiheuttaa sairaan talon syndroomaa, joka tarkoittaa epäterveellisiä sisäolosuhteita. Vieraiden yhdisteiden suuri määrä ei ole tyytyväisyyskyselyin mitattavaa asiaa, vaan asiantuntijan on mitattava ongelmat ja suunniteltava tarvittavat korjaukset havaittujen ilmanlaatuongelmien pohjalta. Ilmanlaatua hallitaan ilmastoinnin määrän ja ilman suodatuksen kautta.

Sisäilman epämiellyttävyyttä aiheuttavat myös epämiellyttävät hajut, pölyisyys sekä mahdollisesti kosteus. Ihmisperäisien VOC päästöjen kanssa hyvin korreloivana tekijänä pidetään yleisesti hiilidioksidia, jota ihminen tuottaa jatkuvasti soluaineenvaihdunnan yhteydessä ja suurin osa hiilidioksidista poistuu hengityksen yhteydessä. Hiilidioksidin tuotto on riippuvainen henkilökohtaisesta energiankulutuksesta. Hiilidioksidi on väritön ja hajuton kaasu. Ilman laatua heikentävänä hiilidioksidina nähdään yleensä ihmisperäinen hiilidioksidi.

Rakentamismääräyskokoelmassa on määritelty seuraaville aineille raja arvot: hiilidioksidi, ammoniakki, amiinit, asbesti, formaldehydi, hiilimonoksidi, hiukkaset PM₁₀, radon ja styreleni. Muiden aineiden sallittu pitoisuus on kymmenesosa haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta eli HTP-arvosta. Ihminen arvioi ilmanlaatua hajuaistiin perustuen.

2.2.4 Hiilidioksidipitoisuus

Sisäilman hiilidioksidipitoisuutta pidetään yleisesti luotettavana sisäilman laadun mittarina. Ihminen ei pysty haistamaan suoraan hiilidioksidia, vaan epäsuorasti muita VOC-yhdisteitä. Tästä syystä vain ihmisperäistä hiilidioksidia pidetään sisäilman laatua heikentävänä tekijänä. Korkean hiilidioksidipitoisuuden on osoitettu alentavan ihmisten tuottavuutta ja päätöksentekokykyä merkittävästi. [44; 33] Nämä liittyvät suoraan kohonneeseen veren hiilidioksidin osapaineeseen.

Suomessa suurin sallittu hiilidioksidipitoisuus sisätiloissa on 1200 ppm. [62] Tämän ohjearvon ylitys ei ole lainkaan epätavanomaista ja esimerkiksi kouluissa hii-

lidioksidipitoisuus ei pysy näissä rajoissa. Ilmanvaihtoa on mahdollista säätää hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Suomessa hiilidioksidin haitalliseksi tunnettu pitoisuus eli HTP-arvo on 5000 ppm, tämän ylittävät pitoisuudet nähdään terveydelle vaarallisiksi. 5000 ppm on hyvin harvinainen pitoisuus sisätiloissa.

2.2.5 Vedon tunne ja paikalliset epäviihtyisyystekijät

Paikallisiksi epäviihtyisyystekijät lasketaan sellaiset viihtymättömyyttä aiheuttavat tekijät, jotka esiintyvät paikallisesti. Esimerkiksi kylmä tuloilmasuihku osuu tiettyyn henkilöön. Eurooppalaisessa standardissa EN 7730: "Lämpöolojen ergonomia. lämpömukavuuden analyttinen määrittäminen ja tulkinta käyttäen laskettuja pmv- ja ppdindeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta", paikallisiksi epäviihtyisyystekijöiksi lasketaan vedon tunne, pystysuuntainen lämpötilaero, lämpimät ja kylmät lattiat sekä säteilylämpötilan epäsymmetria. Lämpötiloihin liittyvistä paikallisista epäviihtyisyystekijöistä kärsivät yleensä vain erittäin kevyttä työtä tekevät ihmiset [52]. Näiden tekijöiden kokemiseen epämukavuudeksi vaikuttaa henkilökohtainen herkkyys, joten niille on määritetty yhtälöt, joista tekijöiden vaikutusta tyytymättömyyden osuuteen on mahdollista arvioida.

Merkittävin tekijöistä on vedon tunne, mikä on epämukavaa ilman liikettä ja liikkeen vaihteluita. Epämiellyttävyys liittyy ilman liikkeen jäähdyttävään vaikutukseen ja tästä aiheutuvaan lämpötuntemukseen. Vedon tunne on epämiellyttävämpi herkemmin viileämissä huonelämpötiloissa. Niskan alue on erityisen herkkä vedon tunteelle.

2.2.6 Valaistus- ja melutasot

Valaistukselle annetaan eurooppalaisessa standardissa EN 12464-1:2011: "Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus" laadullisia kriteereitä, jotka on mahdollista mitata. Valaisun määritteleviä perustarpeita ovat näkömukavuus, näkötehokkuus ja turvallisuus. Nämä täytetään erilaisilla valon laatuun, voimakkuuteen ja suuntaukseen liittyvillä asioilla. Kriteerit annetaan valaistusvoimakkuudelle, valaistuksen tasaisuudelle, kiusahäikäisylle ja värintoistindeksille työalueella sekä valaistusvoimakkuudelle myös työalueen lähiympäristössä.

Sallitut melutasot määritellään kansallisella tasolla. Suomessa tämä on rakentamismääräyskokoelma C1: "Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet 1998"[24]. Olennainen vaatimus melutasoille on, että se ei vaaranna henkilöiden turvallisuutta ja että rakennuksen käyttäjillä on mahdollisuus nukkua, levätä ja työskennellä riittävän hyvissä olosuhteissa.

2.3 Anturien käyttö tyytyväisyyden arvioinnissa

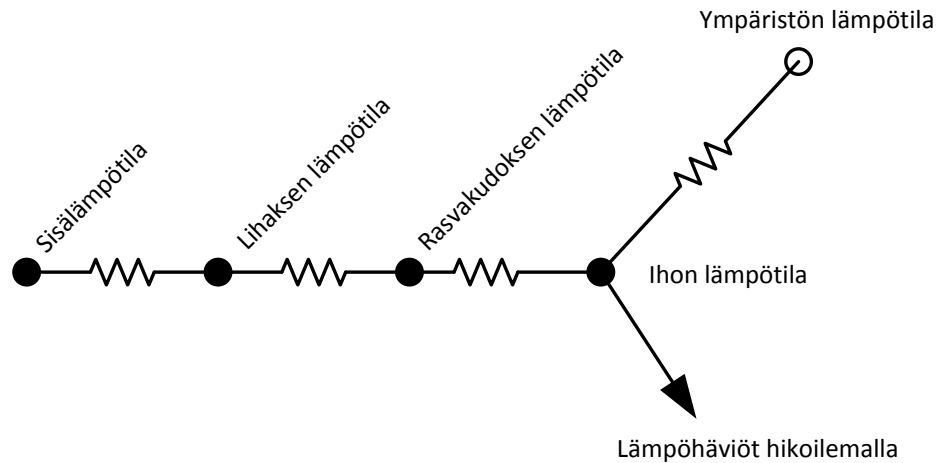
Viihtyisyyden ja sisäympäristöolosuhteiden määrittäminen standardeissa EN15251 ja EN 7300 on tehty tieteellisesti pätevään tutkimukseen nojautuen laboratorio-olosuhteissa. Tutkimuksessa on määritetty niin kutsuttu PMV-PPD -suhde. Sillä pystytään määrittämään 7-portaisella ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla annettujen lämpöviihtyisyysarvojen keskiarvosta ennustettu tyytymättömien osuus tiettyihin ilman olosuhteisiin. Malli on tehty niin kutsutun lämpöneutraaluisperiaatteen mukaan, jossa oletetaan ihmisen olevan tyytyväisimmillään kun hänen lämpötuntemuksensa on neutraali. Menetelmän on kuitenkin todettu aliarvioivan viihtyisyyteen vaikuttavia tekijöitä [61]. Laboratorio on hyvä paikka määrittää ihmisen fysiologisia vasteita yksittäisiin muutoksiin.

Laboratoriossa on myös tutkittu ihmisen hermoston termoreseptoreiden toimintaa sekä erilaisia ennustemalleja. Nämä ovat hyvää pohjaa varsinaisen tyytyväisyyden määrittämiseen. Varsinainen tyytymättömien osuus on määritettävä kyselyillä ja tämä todennäköisesti antaa erilaisen prosenttiosuuden kuin laskennallisesti on määritelty. Viihtyvyydestutkimuksen nykyinen trendi on niin kutsutut adaptiiviset mallit, jotka yhdistävät fysiologiseen malliin myös käyttäytymiseen ja psykologiaan liittyvät tekijät.

2.3.1 Lämpötasemallit

Tasalämpöisenä nisäkkäänä ihmisen lämpösäätelyjärjestelmä pyrkii säilyttämään ruumiin lämpötilan normaalitilassa arvossa 37 °C. Kehon lämpötilan muuttuminen voi johtaa hengenvaarallisiin tiloihin, kuten hypotermiaan ja hypertermiaan. Tavoitteena on säilyttää kehon lämpötila. Hypotalamus mittaa verestä keskushermoston ja erityisesti aivojen lämpötilaa. Asteen kymmenyksen muutos ruumiinlämpötilan asetusarvosta ylöspäin aiheuttaa verisuonien supistumista ja hieman yli yhden asteen heitto alaspäin laukaisee tärisemisreaktion. Koska kehon lämpötilan muuttuessa on myöhäistä tehdä säätötoimenpiteitä, myös ihmisen iho on kehittynyt lämpötilan aistimiseen. Hikoilu on sekundaarinen lämmönsäätelijä ja ihon lämpötila vaikuttaa hikoilun määrään [2].

Lämpöaistimustutkimuksen pioneeri oli Tanskan teknillisen korkeakoulun professori Per Ole Fanger. Hänen tutkimustensa tuloksena oli ihmisen stationaariin lämpötasapainoon perustuva viihtyisyysmalli. Fangerin mallin lähtökohta on, että ihminen kokee viihtyisyyttä, kun hänen tarvitsee tehdä mahdollisimman vähän säätelytoimenpiteitä lämpötasapainonsa säilyttämiseksi. Ihon lämpötilan ja hikoilun tulee olla määrättyissä rajoissa. Fangerin mallissa huomioidaan henkilökohtaisina ominaisuuksina vaatetus- ja aktiviteettitasot ja ulkoisina vaikuttavina tekijöinä ilman lämpötila, keskisäteilylämpötila, ilman liikenopeus ja ilman höyrynpaine [11]. Malli



Kuva 2.3: Useiden lämpötasemallien tapa mallintaa kudoksen lämpötasapainoa yhden kehonosan osalta. Lämpö siirtyy osien läpi johtumalla ja mustilla lämpötilapisteillä on lämpökapasiteetti. Ympäristön lämpötila kuvaa lämpöhäviöitä ympäristöön sekä konvektion että säteilyn kautta.

perustuu staattiseen lämpötilaan ja siinä ihminen ajatellaan yhtenä kokonaisuutena.

Fangerin mallin pohjalta kehitettiin matemaattinen malli tyytyväisyyden tason arviointiin vuonna 1970. Malli tehtiin 1300 koehenkilön joukolla. Kokeita tehtiin laboratoriossa erilaisissa olosuhteissa, koehenkilöt olivat pääosin nuoria opiskelijoita [58]. Koehenkilöt eivät edustaneet kovinkaan hyvin kaikkia ihmisiä, joten koehenkilöiden otos on kärsinyt valintaerheellisyydestä, mikä tarkoittaa sitä, että koehenkilöt ovat valikoituneet siten, että erilaiset ihmiset eivät ole olleet edustettuna. Tästä syystä mallia ei voi käyttää esimerkiksi vanhusten lämpötuntemusten arviointiin sillä vanhuksilla on vähemmän lihasmassaa kuin nuorilla aikuisilla.

Stolwijkin 25 pisteen malli on 60-luvulla kehitetty lämpötasemalli [20], joka muodostuu kuudesta ruumiinosasta: päästä, keskiruumiista, käsivarsista, kämmenistä, jaloista ja jalkateristä. Ruumiinosat ovat mallinnettu sylinterinmuotoisiksi ja koostuivat eri kerroksista, nämä kerrokset sisältä ulospäin laskettuna ovat: ydin, lihas, rasvakudos ja iho. Ruumiinosia mallinnettiin kuvan 2.3 mukaisilla lämpöverkoilla. Mallissa huomioitiin osien terminen massa sekä verenkierron vaikutus kudosten lämpötilaan. Mallissa oli myös mallinnettu lämpötiloja aistiva systeemi ja niiden perusteella säätelytoimenpiteitä kuten tärisemistä, hikoilua ja verenkierron muutoksia [28]. Malli oli 60-luvun tietokoneille riittävän yksinkertainen ja se on ollut monen modernimman mallin, kuten Berkeleyn yliopiston monipisteviihtyisyysmallin esikuvana. [20]

Stolwijkin mallia yksinkertaisempi malli on Gaggen kahden pisteen malli, joka on yksinkertaistus Stolwijkin mallista. Siinä ihminen jaetaan ydinosiin sekä sitä ympäröiviin kudoksiin. Molemmat mallit pystyvät mallintamaan lämpötilojen muutosten vaikutuksia. On kuitenkin huomattu niiden toimivan melko huonosti eri aktiviteettitasoilla toimiville ihmisille ja lämpöviihtyisyyden ennustaminen on näille malleille haaste [28].

Uusimpia malleja, on VTT:llä ja Aalto yliopistossa kehitetty human thermal model [19]. Mallina human thermal model (HTM) pitää sisällään paljon samoja piirteitä, kuin vanhat mallit. Siinä on mallinnettu passiiviset lämmönsäätelyjärjestelmät sekä aktiiviset vasteet eli hikoilu, värinä ja verisuonten toiminta. Tarkoituksena mallilla on luoda työkalu, jolla ihmistä voi mallintaa objektina erilaisissa suunnittelu- ja analyysiohjelmistoissa. Tällä on mahdollisuus päästä mallintamaan viihtyisyyttä Fangerin mallia tarkemmalla menetelmällä.

2.3.2 Adaptiiviset mallit

Adaptiivisissa malleissa ihmistä ei ajatella passiivisena lämpöviihtyisyyden kokijana kuten lämpötasemalleissa. Ihmisen kokemuseräiseen viihtymiseen vaikuttavat esimerkiksi tilannesidonnaiset asiat, kuten aikaisemmat lämpötilat, ulkolämpötila, odotukset sekä psykologiset sekä sosioekonomiset seikat. Ihminen on lämpötunteuksensa suhteen aktiivisessa vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Ihmisillä nähdään olevan kolme eri adaptoitumismenetelmää

1. **Käyttäytymiseen liittyvät:** Ihminen voi käyttäytymisellään vaikuttaa lämpöviihtyisyyteensä. Nämä jaetaan kolmeen alakategoriaan [9].
 - (a) Henkilökohtainen säätö; esimerkiksi vaatteiden pois ottaminen
 - (b) Teknologinen; esimerkkinä lämpöolojen säätäminen
 - (c) Kulttuurinen; esimerkkinä siestan viettäminen
2. **Fysiologinen adaptoituminen:** Ihmisen fysiologiset vasteet erilaisiin olosuhteiden muutoksiin muuttuvat. Tämä voi olla geeni tai tottumusperäistä. Fysiologisia vasteita ovat kaikki kehon luonnolliset lämmönsäätelytoimenpiteet. Muutoksiin sopeutumista kutsutaan akklimatisaatioksi. Akklimatisaatiossa ihminen ikään kuin oppii säätämään ruumiin lämpöä uudella tavalla, ihminen voi esimerkiksi oppia hikoilemaan enemmän kuin olisi hikoillut aiemmin samassa ympäristössä [3]. Tämä elimistön oppiminen auttaa ihmistä asumaan hyvin erilaisissa ilmastoissa.
3. **Psykologinen:** Erilaiset vasteet erityyppisiin sisäilmaston muutoksiin, jotka johtuvat aikaisemmista kokemuksista sekä odotuksista. Henkilökohtainen mukavuusalue ei ole vakio. Myös toistuva altistuminen tietyille muutoksille voi

heikentää niiden vaikutuksia. Sukupolvien saatossa tapahtuvaa populaation herkkyytason muutosta kutsutaan adaptaatioksi.

Psykologisen adaptoitumisen arvellaan olevan merkittävin tekijä laboratorio- ja kenttäkokeiden välisten erojen syynä. Humphreys osoitti tilastollisella analyysillä että viihtyisyyssä lämpötilan vaihteluväli voi sisätiloissa olla jopa 13 °C.[10; 34] PMV-indeksi toimii jokseenkin hyvin ilmastoiduissa rakennuksissa, mutta antaa huonoja tuloksia rakennuksissa, joissa on luonnollinen ilmanvaihto. Vaatteiden määrä on suuresti riippuvainen ulkolämpötilasta. Lämpövihtyisyys paranee, mikäli ihmisellä on mahdollisuus vaikuttaa omaan lämpötuntemukseensa esimerkiksi lisäämällä vaatteita tai avaamalla ikkuna. Tämä toimii myös psykologisesti jos ihminen luulee voivansa vaikuttaa lämpötuntemukseensa.

Ilmastoiduissa rakennuksissa ihminen on herkempi epävihtyisyystekijöille kuin luonnollisesti ilmastoiduissa. Esimerkiksi kehittyneissä kaupungeissa ihmisten odotustaso on korkeampi kuin vähemmän kehittyneissä alkeellisimmissä olosuhteissa. Alkeellisimmissä olosuhteissa ihmisten odotukset eivät ole suuret, joten he ovat tyytyväisempiä huonompiin olosuhteisiin kuin paremmissa olosuhteissa elävät. Tämän vuoksi nykypäivän vaatimukset talotekniikan tuottamille olosuhteille ovat korkeammat kuin joitakin vuosia sitten ja olosuhteiden hyvyttä on mahdoton arvioida ainoastaan kovia mittareita käyttäen. Luonnollisen ilmanvaihdon kohteissa ihmiset ovat samoihin mitattuihin olosuhteisiin tyytyväisempiä kuin koneellisen ilmanvaihdon kohteissa.

Adaptiivisia lämpövihtyisyysmalleja on kehitetty, mutta ne eivät toistaiseksi tarjoa aukotonta arvioita. Joitakin lupaavia tuloksia on kuitenkin saatu. Yao ym. [60] kehittivät aPMV indeksin lisäämällä PMV indeksiin adaptiivisen kertoimen λ .

$$aPMV = \frac{PMV}{1 + \lambda * PMV} \quad (2.1)$$

Frédéric Haldi [18] mallinsi väitöskirjatutkimuksessaan ihmisen adaptiivisten toimien kuten ikkunan avaamista. Yhdistämällä tällainen mallinnus lämpötasemalleihin ja energialaskentaohjelmistoihin, voidaan saada suunnitteluvaiheeseen hyvää tietoa. Kysymykseksi jää, kuinka mallinnukseen voidaan luottaa ja kuinka tarkasti lähtötiedot voidaan antaa.

Ihmisellä on erikseen lämmintä ja kylmää aistivat termoreseptorit. Ne reagoivat erikseen staattiseen lämpötuntemukseen sekä lämpötuntemuksen muutokseen. Voimakkaammat reaktiot liittyvät juuri lämpötilan muutokseen. Erittäin miellyttävää lämpötuntemusta on mahdotonta tuottaa staattisissa olosuhteissa. Ihmisen hermosto on rakentunut niin, että erittäin miellyttävä lämpötuntemus saavutetaan siten, että paikallista epämiellyttävää lämpöaistimusta tuottava lämpöolosuhde poistetaan ja kehon lämpötasapaino saavutetaan uudestaan.

Adaptiivinen lämpöviihtyisyys on otettu huomioon Sisäilmayhdistyksen sisäilma-luokituksessa 2008, siten että korkeammissa ulkolämpötiloissa sallitaan korkeammat lämpötilat [49]. Adaptiiviset periaatteet on hyvä ymmärtää rakennuksen suunnittelussa ja käytössä. Adaptiiviset mallit voivat auttaa suunnittelijoita käyttämään energian oikein ja näin edesauttaa kestävästä kehityksestä ja hiilijalanjäljen pienentämisestä. Pelkästään staattiseen lämpötasemalliin nojaaminen voi johtaa epäedullisiin suunnitteluratkaisuihin.

2.4 Kyselyiden käyttäminen asiakastyytyväisyyden määrittämisessä

Kyselyiden käyttämistä pidetään usein luotettavimpana sisäilmaston laadun indikaattorina, mutta todellisessa tilanteessa ihminen voi liioitella tai vähätellä tuntemusta esimerkiksi persoonallisuudesta tai toimenpideodotuksista riippuen. Tämä voi aiheuttaa sen, että tulokset eivät kerro totuutta olosuhteista. Kyselyiden luotettavuuden lisäämiseksi, on tarpeen muotoilla kysymykset yksiselitteisesti [29]. Myös vastaamisen anonyymiteetti rohkaisee totuudenmukaiseen vastaamiseen.

Mishra ja Ramgopal mainitsivat lämpöviihtyisyyden kenttäkoekatsauksessaan [31], että yleisesti hyväksytty menetelmä kenttäkoekokeiden suorittamiseksi olisi tulosten vertailun kannalta olennaista. Erilaiset tyytymättömien osuuden määrittämiseen tähtäävät menetelmät antavat erilaisia tuloksia. Hyvä menetelmä antaa yksiselitteisiä ja käyttökelpoisia tuloksia. Käytön kannalta ideaalinen menetelmä on sellainen, joka houkuttelee ihmisiä kertomaan mielipiteensä.

Olosuhdekyselyt ovat muuttuneet aikojen saatossa. Ensimmäiset olosuhdekyselyt tehtiin pääasiassa käyttämällä ainoastaan lämpötuntemukseen liittyvää kysymystä. Mutta koska lämpötuntemuksen ei huomattu korreloivan viihtyisyyden kanssa, siirryttiin lämpötuntemuskysymyksen rinnalla viihtyisyyden selvittämiseksi suoria kysymyksiä viihtyisyydestä. Tyypillinen olosuhdekysely koostuu Lämpötuntemuskysymyksestä, kysymyksestä millaisissa olosuhteissa ihminen haluaisi viettää aikaansa sekä kysymys lämpötuntemuksen miellyttävyydestä sekä suorasta olosuhteiden hyväksyttävyyteen liittyvän kysymyksen. [31]

Kysymysten muotoilu on tärkeässä osassa tyytyväisyyden subjektiivisessa arvioinnissa. Sisäympäristön laatu on lukuisten tekijöiden yhteisvaikutuksen summa. Sisäilmaston tasoa on hankala arvioida yleisellä kysymyksellä sillä ihmiset painottavat ilman laadun osatekijöitä eri tavalla. Kysymyksenä kannattaa pitää tarkasti kohdennettua helppoa kysymystä. Kannattaa kysyä esimerkiksi lämpötilasta tai valaistuksen voimakkuudesta erikseen, mutta ei yleisellä tasolla sisäilmaston hyvydestä. Kyselyssä pyritään kysymyksiin, jotka ovat mahdollisimman hyvin tieteellisessä mielessä tunnustettuja.

Taulukko 2.2: Eri luokitteluasteikot sekä matemaattiset operaatiot, jotka ovat kyseisellä asteikolla mielekkäitä

Asteikko	Sallitut matemaattiset operaatiot
Luokitteluasteikko	Yhtäsuuruus
Järjestysasteikko	Yhtäsuuruus, järjestys
Välimatka-asteikko	Yhtäsuuruus, järjestys, etäisyys
Suhdeasteikko	Yhtäsuuruus, järjestys, etäisyys, suhteet

Tässä työn aihepiiriin kuuluu menetelmää, joka soveltuu vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Kuinka suuri osa kiinteistön ihmisistä on tyytyväisiä
 - Lämpöviihtyisyyteen?
 - ilmanlaatuun ja raikkauteen?
 - Johonkin muuhun ominaisuuteen?
- Millainen on olosuhteiden muutoshalukkuus?
- Mitä ongelmakohtia rakennuksen sisäilmassa on?

2.5 Vastausasteikkojen luokittelu

Tilastolliset mitta-asteikot jaetaan neljään eri tasoon. Mitta-asteikon taso määrää sen, millaisia päätelmiä ja operaatioita kerätylle datalle on mahdollista tehdä. Taulukossa 2.2 on esitetty eri mitta-asteikot ja sallitut operaatiot [6]. Luokitteluasteikolla vastaus annetaan jonkin luokittelumuuttujan mukaan, esimerkiksi Mies/Nainen. Datasta on mahdollista todeta muuttujien yhtäsuuruus tai epäyhtäsuuruus.

$$A = B \vee A \neq B \quad (2.2)$$

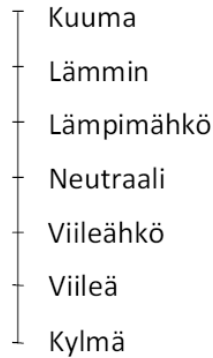
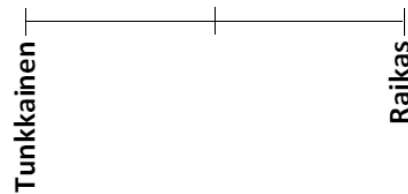
Järjestysasteikolla on edellisten lisäksi järjestys esim. Kuuma, Kuumempi, Kuumin siten, että:

$$A < B < C \quad (2.3)$$

Välimatka-asteikolla on mahdollista tehdä yhteen ja vähennyslaskuja. Mikäli arvot ovat järjestysasteikkoisia ja asteikon välit ovat tasamittaisia, voidaan sanoa, että

$$B - A = D - C \quad (2.4)$$

Celsius lämpötila-asteikko on välimatka-asteikko. Kuitenkin jotkut lämpötilojen suhteisiin liittyvät laskut voidaan joutua tekemään Kelvin-asteikolla, joka on kiinnitetty yksikäsitteiseen nollapisteseen. Tämä on suhdeasteikko, suhde-asteikolla on

Millaiseksi arvioit lämpöaistimuksesi?***Millaiseksi arvioit ilman laadun?***

Kuva 2.4: Kategorinen asteikko(ylh.) ja visuaalisanalogninen asteikko(alh.)

välimatka-asteikkoon verrattuna etuna se, että voidaan määrittää yksikäsitteisesti arvojen kerrannaisia. siten, että pätee:

$$A \times B = C \wedge C \div B = A \quad (2.5)$$

Ilmanlaadun subjektiivinen arviointi on psykometrinen mittaus, joka eroaa eksaktista mittaamisesta, kuten lämpötilan mittaamisesta siten, että mittaus voidaan olettaa ainoastaan karkeaksi arvioksi todellisesta tilanteesta [29]. Mittauksen tulokseen voi vaikuttaa esimerkiksi ihmisen kyky tehdä arvioita tilanteesta tai ryhmäpaine. Subjektiivinen arviointi vaatii vähintään 2 luokittelevaa muuttujaa vastausten kiinnittämiseksi asteikkoon.

Sisäilmaston arviointiin voidaan käyttää kategorista asteikkoa tai visuaalisanalognista asteikkoa. Kategorisella skaalalla ihmiselle annetaan tietty määrä sanallisia vastausvaihtoehtoja, joiden väliltä tehdään valinta. Visuaalisanalognisella asteikolla vastaus annetaan vapaavalintaiseen kohtaan janalla, josta vastaus muutetaan numeeriseen muotoon esimerkiksi väliltä 0-100. Sisäilmastokyselyissä on yleensä käytetty kategorisia kysymyksiä järjestysasteikolla tai semanttista erottelua, joka on visuaalinen asteikko. Semanttisessa erottelussa valitaan kahden sanallisen vastakohdan väliltä jokin piste. Asteikolla voi olla keskellä määrittelevä sana tai visuaali-

nen erottelu voidaan jakaa kaksiosaiseksi esimerkiksi siten, että toisella asteikolla on positiivinen asteikko ja toisella negatiivinen. Kuvassa 2.4 on esitetty esimerkit kategorisesta asteikosta sekä semanttisen erottelun asteikoista.

Kategorisissa ilmanlaadun kyselyissä on usein käytössä 7-portainen asteikko. Alun perin 7-portainen asteikko tuli kyselyihin varsin sattumalta, mutta myöhemmin saatiin tieteellistä tukea 7-portaisen asteikon hyvyydelle. Psykologisesti ihmisen on helppo erottaa 5-9 ilmanlaadun tasoa subjektiivisesti. Suuri määrä vastausvaihtoehtoja tuottaa hämmennystä.

Asteikoilla eri vastausvaihtoehdoille määritellään aina numeeriset arvot tilastollista analyysia varten. Mikäli asteikolta halutaan tutkia vastausten etäisyyksiä ja tai suhteita, on asteikko skaalattava oikealla tavalla. Ja suhdeasteikko vaatii arviolle myös referenssiksi nollapisteen. Ilman laadun arvioinneissa asteikot ovat pääsääntöisesti järjestysasteikoita tai välimatka-asteikoita, vaikka vastausvaihtoehdot yleensä ovatkin luokittelevia.

Vastausten analyysin helpottamiseksi esimerkiksi 7-portaisella asteikolla vastauksia analysoidaan antamalla vastausvaihtoehdoille kokonaislukuarvot joko väliltä $[-3, 3]$ tai $[1, 7]$. Tällä määrittelyllä luodaan järjestysasteikko. Tällä määrittelyllä tilastollisiksi analyysimenetelmiksi sopisivat parametrittomat testit. Tasajakaisen asteikon on todettu kuitenkin antavan varsin normaalisti jakautuneita vastauksia ja siksi asteikolle on käytetty normaalijakauman olettavia tilastollisia testejä ja esimerkiksi aritmeettisten keskiarvojen laskemista.

Varsinaisesti normaalijakauman olettavia testejä voidaan suorittaa vain, jos populaatiolle on arvio asteikon jakautumisesta. Ihmisen tuntemuksiin vaikuttaa suuri joukko asioita, joten vastaukset voidaan olettaa normaalijakautuneiksi. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi asteikon skaalaamisessa. Yksi keino tämän tekemiseen on probit-funktion hyväksi käyttäminen.

$$\text{probit}(p) = \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2p - 1) \quad (2.6)$$

, jossa p on satunnaismuuttujan arvo ja erf on virhefunktio. Probit funktio kuvaa on standardinormaalijakauman kertymäfunktion ja satunnaismuuttujan arvojen suhdetta. Jos otoksen perusteella määritellään vastausvaihtoehdon arvo siten, että tämä piste on yhteneväinen probit-funktion kanssa, saadaan vastausvaihtoehdot skaalattua siten, että vastausten jakauma on standardinormaalijakauman mukainen.

2.5.1 Asteikon napaisuus

Asteikot voidaan jakaa yksi- ja kaksinapaisiin asteikoihin. Kaksinapaisen asteikon keskellä on neutraali piste, joka merkitsee suurinta välinpitämättömyyden astetta tai pistettä jossa ihminen ei halua ottaa kantaa asiaan puolesta tai vastaan. As-

Taulukko 2.3: Lämpötuntemuksen arvioinnissa käytettyjä kategorisia asteikoita sekä tyypillisesti vastauksien vertailussa käytetyt lukuarvot. Modifoidulle ASHRAE-lämpötuntemusasteikolle ei ole yleistä suomennusta. Asteikon toiselta tasolta "Slightly too" on tässä suomennettu sanalla "hieman" johtuen siitä että sana "liian" suomen kielessä on todennäköisesti voimakkaampi ilmaisu kuin englannin sana "too"

	ASHRAE-lämpötuntemusasteikko	Modifioitu RAE-lämpötuntemusasteikko	ASH- Bedford-asteikko
3	Kuuma	Aivan lämmin	Aivan liian lämmin
2	Lämmin	Liian lämmin	Liian lämmin
1	Lämpimäähkö	Hieman lämmin	Miellyttävän lämmin
0	Neutraali	Juuri Sopiva	Miellyttävä
-1	Viileähkö	Hieman Viileä	Miellyttävän viileä
-2	Viileä	Liian viileä	Liian viileä
-3	Kylmä	Aivan liian viileä	Aivan liian viileä

teikon päissä sijaitsevat toisensa poissulkevat termit. Esimerkiksi kuuma/kylmä tai tyytyväinen/tyytymätön. Ääripäiden ja neutraalin pisteen välillä sijaitsee eri asteikosta tuntemuksen voimakkuudelle. Pisteet voivat olla joko vaihtoehtoja tai jatkuva vastausmahdollisuuksien jana.

Yksinapaisella asteikolla on jonkin asian erilaisia asteita. Toisessa päädyssä on ilmaistu suurin asian vaikutus ja toisessa päässä pienin asian vaikutus. Tässä voi olla kysymyksessä esimerkiksi kysymys hajun voimakkuudessa, jolloin asteikon alku on absoluuttinen tuntemus siitä että hajua ei ole ja toisessa ääripäässä olisi tällöin voimakasta hajua määrittelevä ilmaus. Vastausten jakaumien muodot riippuvat voimakkaasti asteikkojen napaisuudesta. Tyypillisesti kaksinapaisella asteikolla vastaukset jakautuvat normaalijakauman omaisesti asteikolle, kun taas yksinapaisella asteikolla vastaukset voivat helpommin kasaantua toiseen ääripäähän. Toisaalta yksinapainen asteikko voi sallia tilastollisen analyysin suhdeasteikolla sillä asteikko sisältää absoluuttisen nollapisteen. Tämä tosin vaatii huolella skaalattua asteikkoa, joka on tuntemusperäisten vastausten tapauksessa vaikea tehdä ja yleensä myös tarpeeton.

2.5.2 Kategoriset asteikot sisäilmaston luudun tutkimisessa

Kategoriset asteikot ovat lämpöviihtyisyyden yhteydessä yleisimmin käytetty kysymystyyppi helppouden ja yksiselitteisyyden vuoksi. Ihmisen kuvatessa omia subjektiivisia kokemuksia, vastaukseen on helppo liittää kuvaavia adjektiiveja kuten esimerkiksi viileähkö. Sanalliset ilmaisut myös auttavat skaalaamaan tuntemuksen jotakuinkin samalla tavalla eri ihmisten välillä ja sitomaan merkityksen eri asteikon

kohtiin. Kysyttävän suureen kategorioita pyritään määrittämään tasajakoisesti tutkittavaa suuretta kuvaavasti. Kysely on helppo vastata jokaiseen vaihtoehtoon liittyvän kategorian ansiosta. Tuloksista on mahdollista laskea keskiarvoja sekä tulkitusten jakaumista tilastollisia suureita, kuten verrata keskiarvoja ja variansseja. Erilaisia lämpötuntemuksen arvioinnissa käytettyjä asteikoita on esitetty taulukossa 2.3 ja lämpötilan muutoshalukkuuden tutkimisessa käytettyjä asteikkoja taulukossa 2.4.

Kategoristen asteikoiden on todettu antavan varsin hyviä ja normaali-jakautuneita vastauksia, mutta vastauksiin liitettäviä lukuarvoja voidaan skaalata normaali-jakaumaan paremmin sopiviksi. Eri kielten ja on kuitenkin huomattu vaikuttavan tietyn vastauksen sijaintiin asteikolla [21; 41]. Kategorisoimattomalla asteikolla osa ihmisistä suosii päätepisteiden vastauksia ja osa keskemmälle sijoittuvia vastauksia persoonallisuudesta riippuen. [29] s.25.

ASHRAE-lämpötuntemusasteikko on lämpöviihtyisyyden tutkimuksessa eniten käytetty asteikko lämpötuntemuksen mittaamiseen. Lähes kaikki tieteellinen tutkimustyö lämpötuntemuksista tehdään tätä asteikkoa hyödyntäen. Asteikolla vastauksen perusteella on yritetty saada selville, kuinka suuri osa ihmisistä pitää lämpötilaa hyväksyttävänä, mutta tässä ei olla kuitenkaan onnistuttu. Asteikon neutraalia lämpötilaa on tutkittu ja neutraali lämpötila riippuu henkilökohtaisista sekä ympäristöllisistä tekijöistä.

Bedford asteikko on miellyttävyyteen viittaava kategorinen lämpöviihtyisyysasteikko. Asteikko pakottaa vastaajan ottamaan kantaa lämpöaistimuksen lisäksi lämpöaistimuksen miellyttävyyteen ja antaa vastaajalle mielleihtymän lämpötilan ja sen miellyttävyyden välille. Asteikon haittapuolena on sen kohtalainen vaikeus niin loogisesti kuin vaikeiden vastausvaihtoehtojen osaltakin. Vaikka asteikossa on mukana mukavuus, sen on todettu antavan hyvin samanlaisia tuloksia, kuin ASHRAE-lämpötuntemusasteikonkin.

Humphreys ja Nicol esittivät vuonna 2004 modifioitua lämpötuntemusasteikkoa usein toistettaviin kyselyihin [22]. Tämän asteikon sanamuoto lukitsee neutraalin lämpötilan keskelle ja se antaa parempia tuloksia tyytyväisten osuuden suhteen. Tutkimuksissa on todettu, että ihmiset eivät välttämättä halua kokea neutraalia lämpötilaa, vaan esimerkiksi kuumana kesäpäivänä viileä lämpöaistimus on huomattavasti miellyttävämpi [22]. Tämä osaltaan ohjaa vastauksia enemmän kohti ääripäitä perinteisellä ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla.

McIntyre-asteikko [30] on suora lähestymistapa lämpöolojen hyväksyttävyyteen. Asteikko kysyy suoraan lämpötilan muutoshaluja. Kysymys on "Haluaisitko lämpötilan olevan?" vastausvaihtojen ollessa taulukon 2.4 mukaiset, ihmiset jotka haluavat muutosta, tulkitaan tyytymättömiksi. Nicol-asteikko on McIntyre-asteikkoa vastaava asteikko lisättynä muutoshalukkuuden useammilla asteilla, myös nämä vastaus-

Taulukko 2.4: Kategoriset muutoshaluasteikot ilman laadun arvioinneissa. Numeroarvot ovat tyypillisesti vastausten analysoinnissa käytettyjä numeroarvoja

	McIntyre-asteikko	Nicol-asteikko
2		Reilusti viileämpi
1	Viileämpi	Hiukan viileämpi
0	Ei muutosta	Ei muutosta
-1	Lämpimämpi	Hiukan lämpimämpi
-2		Reilusti lämpimämpi

Taulukko 2.5: Standardin EN 15251 mukainen kategorinen asteikko hajutason määrittämiseen

- 0 Ei hajua
- 1 Heikko haju
- 2 Kohtalainen haju
- 3 Voimakas haju
- 4 Sietämätön haju

vaihtoehdot on esitetty taulukossa 2.4. McIntyre-asteikko on mukana perinteisissä sisäilmatutkimuksissa ASHRAE-lämpötuntemusasteikon rinnalla.

Ilman tunkkaisuus ja hajutaso on vaikeimmin arvioitavissa kategorisessa mielessä, koska semanttisesti tasajakaisen asteikon luominen on haastavaa. Eurooppalaisessa standardissa EN15251: "Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet" on taulukon 2.5 mukainen asteikko hajutason määrittämiseksi. Hajuaistimuksen yhteydessä neutraali haju on alhaisin hajutaso.

2.5.3 Visuaalisanalogiset asteikot sisäilmaston laadun tutkimisessa

Visuaalisanalogisella asteikolla tarkoitetaan asteikkoa, joka ei jaottele varsinaisia kategorioita vastaamista varten vaan ääripäät määritellään kategorisesti ja vastaaja valitsee haluamansa vastausvaihtoehdon janalta. Visuaalisanalogiset asteikot ovat suosittuja psykologian ja terveystieteiden piireissä, kun sisäilmastotutkimuksessa käytetään yleisimmin kategorisia asteikoita. Yhdistetyksi asteikoksi sanotaan asteikkoa, jossa henkilö saa valita haluamansa kohdan vastausjanalta mielivaltaisesti, mutta vastausta ohjaa suuri määrä kategorisia määritelmiä.

Kaksinapaista visuaalisanalogista asteikkoa, jossa keskikohtaa ei ole varsinaisesti määritelty, kutsutaan nimellä semanttinen erottelu. Semanttinen erottelu kehitettiin alkujaan sanojen merkityksien tutkimista varten.

Tyypillisin lämpötilan hyväksyttävyyden asteikko on kaksinapainen visallisanaaloginen asteikko, jossa neutraali vastaus on kielletty. Asteikko ikään kuin pakottaa henkilön valitsemaan kantansa puolesta tai vastaan. Keskikohdan molemmin puolin voidaan määritellä sanallisesti pienin mahdollinen tuntemuksen aste.

2.6 Käyttäjätyytyväisyyden määrittäminen vastausten perusteella

Suurin osa tieteellisistä sisäympäristökyselyistä on kerätty pitkän aikavälin arvion menetelmillä [40]. Pitkän aikavälin arviolla tarkoitetaan yhdistettyä arviota tietyn ajanjakson keskimääräisestä tilanteesta. Juuri nyt -menetelmän kyselyt ovat olleet pitkälti käytössä laboratoriokokeissa. Juuri nyt -menetelmissä arvioidaan vastaushetken hetkellistä tuntemusta, mikä mahdollistaa tarkan arvion antamisen tilanteesta.

Fangerin lämpötasemalli, joka on selitetty aliluvussa 2.3.1, kehitettiin tyytymättömyyden osuuden arviointiin. Lämpöviihtyisyyttä tulkittiin siten että ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla kuumaa, lämmintä, viileää ja kylmää arvioineet tulkitaan tyytymättömiksi. Suuren joukon vastausten saavutettu normaalijakautuneisuus mahdollistaa tyytymättömien osuuden laskemisen jakauman keskiarvon perusteella. Malli on standardin EN 7730 tyytymättömyyden arvioinnin perustana. Mallia käytetään arvioimaan viihtyisyyttä suunnitteluvaiheessa kun mittauksia ei vielä ole mahdollista tehdä. Mallia ei hyödynnetä nykyään varsinaisissa olosuhdekyselyissä.

Nykyinen tutkimus on osoittanut että lämpötuntemusäänestyksen perusteella ei ole mahdollista arvioida tyytyväisyyttä. Tämä johtuu siitä, että eri tekijöistä johtuen ihmisen neutraali lämpötila muuttuu. Lisäksi varsinaisella kyselyllä annetut vastaukset eivät yleensä ole lähelläkään laskennallista mallia, vaikka Maulan mukaan [28] joissain ilmastoiduissa rakennuksissa voidaan päästä likipitäen lähelle laskennallista mallia. Fanger ja Toftum [35] esittivät odotuserrointa lisättäväksi PMV arvoon, tämä lähestymistapa ei kuitenkaan ottanut tuulta alleen.

Jäljelle jää luoda sellainen sanasto, josta voi yksiselitteisesti tulkita tyytyväisyyden osuuden. Yksi tapa tämän tavoitteen saavuttamiseksi on Bedford-asteikon tai modifioidun ASHRAE-lämpötuntemusasteikon käyttäminen. Näidenkään asteikkojen tulkinta ei ole aivan yksikäsitteistä.

McIntyre- ja Nicol-asteikot eivät ole yhtä herkkiä neutraalin lämpötilan muuttumiselle, mutta kysymyksen asettelu on vaikeahko sikäli, että siinä ei kysytä tuntemuksesta vaan kuinka sisäilmastoa haluaisi muuttaa. Jos ihminen kokee viileyttä, on hänen käännettävä mielipide pääläelleen: ”Minulla on kylmä, haluaisin, että olisi lämpimämpää”. Yksinkertaisin tapa semanttiseen tyytymättömien osuuden määrittämiseen on kysyä suoraan ihmiseltä lämpötuntemuksestaan suoralla kysymyksellä, oletko tyytyväinen vai et?

Taulukko 2.6: Standardin EN 10551 mukainen asteikko lämpöviihtyisyyteen tyytymättömien henkilöiden arviointiin

Napa	Asteikko	Asteikon sanallinen muoto
EI VIIHTYISÄ	0	Viihtyisä
	1	Hieman epäviihtyisä
	2	Epäviihtyisä
	3	Huomattavan epäviihtyisä
	4	Äärimmäisen epäviihtyisä

Suomentamattomassa eurooppalaisessa standardissa EN 10551 "Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales"[12] esitetään keino tyytymättömien henkilöiden arviointiin. Kyselyssä käytetään taulukon 2.6 mukaista arvioivaa asteikkoa viihtyisyydestä. Tämän asteikon vastauksia voidaan verrata standardin EN 7730 antamaan arvioon tyytymättömien osuudesta.

2.7 Standardinmukainen kysely ja sisäympäristön luokittelu

Kaksi eurooppalaista standardia ja yksi yhdysvaltalainen standardi käsittelee suoraan sisäilmanlaatua arvioivia kyselyitä:

EN 10551	<i>Lämpöolojen ergonomia. Lämpöolojen vaikutuksen arviointi käyttäen subjektiivisia arviointiasteikkoja [12]</i>
EN 15251	<i>Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet [54]</i>
Ashrae 55-2004	<i>Thermal environmental conditions for human occupancy [4]</i>

Standardi EN 10551 kuuluu standardisarjaan, joka käsittelee lämpörasitusten arviointia. Standardissa esitetään menetelmä subjektiivisten kyselyiden suorittamiseen. Menetelmä sisältää lämpötunteumuksen arvioinnin, miellyttävyyden arvioinnin sekä muutoshalukkuuden arvioinnin. Näiden lisäksi menetelmää voi laajentaa tarkempaan analyysiin henkilökohtaisista mieltymyksistä.

Standardi suosittelee myös hyväksyttävyyden kysymistä edellä mainittujen kysymysten lisäksi. Kyselyillä arvioidaan henkilön kehon lämpötasapainotilaa. Vaatetuksen eristävyyden (I_{cl}) olisi oltava normaali vaatetus $[(0,5 \pm 0,2)clo < I_{cl} \leq (1,0 \pm 0,2)clo]$ sekä aktiivisuustason olisi oltava noin $1 - 1,2Met$ Eurooppalaisessa standardissa EN 15251 sanotaan subjektiivisten arvioiden käyttämisestä seuraavasti:

"Subjektiivisia kyselyitä voidaan käyttää arvioimaan sisäympäristöä.

Subjektiiivisia asteikkoja esitetään käyttäjille ennalta määrättyinä aikoina (Päivittäin, viikoittain, kuukausittain jne.) Asteikot voidaan esittää intranetin kautta jokaisen henkilön tietokoneelle tai jakaa paperikopioina. Kysymyslomakkeet tulee täyttää aamupäivällä tai alkuiltapäivästä, ei kuitenkaan heti rakennukseen saapumisen tai lounastauon jälkeen. Tulokset tulee esittää keskiarvoina ja/tai jakaumina."

Standardeissa ei määritellä tiettyä kysymyssarjaa tai tarkkaa menetelmää. Standardissa EN 10551 tyydytään toteamaan millaiset navat asteikolla on, mutta varsinaiseen annetaan vain esimerkki muutamalla kielellä, suomi ei ole tässä joukossa. Kysymykset voidaan määritellä ajatellen palautteenkeruun tarpeita. Olennaista on varmistaa että kyselyyn vastaava henkilö ei ole juuri saapunut rakennukseen eikä ole saapunut lounastauolta. Tämän voi toteuttaa joko kontrollikysymyksellä tai kyselyn julkaisun ajankohdalla.

Tulosten kannalta on tärkeää että kyselyistä saadaan tyytyväisten osuus määriteltä, tämä toteutetaan kysymällä kysymys olosuhteiden hyväksyttävyydestä. Mikäli kysely halutaan pitää myös amerikkalaisen ilmanlaatustandardin, Ashrae Standardi 55 mukaisena mainitaan, että lämpötyytyväisyysasteikko on kysyttävä varsinaisessa muodossaan, joka on ASHRAE-lämpötuntemusasteikko.

Mittaukset jaetaan tyypillisesti juuri nyt –mittauksiin ja pidemmän aikavälin arviointiin. Tavallisesti pidemmän aikavälin arviot ovat käytössä oikeissa rakennuksissa sillä resursseja yleensä on vain yhteen vuotuisen asiakaskyselyyn. Juuri nyt –tyypin kysely antaa paremman kuvan sisäilman olosuhteista ja tämän tyyppisillä kyselyillä pystytään havaitsemaan paremmin muutoksia tyytyväisyydessä ja muuttamaan sisäilmaston olosuhteita tämän mukaisesti. Myös standardissa EN 10551 mainitaan ohjeistuksena, että pidemmän aikavälin arvion kyselyitä olisi syytä välttää. Juuri nyt kyselyitä käytetään myös tieteessä kyselyiden ja fysiologisten tekijöiden yhteyksien selvittämiseen.

Eurooppalaisen standardi EN 15251, "Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet"[54] on tarkoitettu antamaan suunnitteluparametreja rakennusten, lämmityksen, jäähdytyksen, ilmastoinnin ja valaistuksen järjestelmäsuunnitteluun. Aihepiirinsä osalta standardi on laaja, sen aihepiiriin kuuluu:

- Sisäympäristöllisten tekijöiden, joilla voi olla vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen, määrittely.
- Kuinka määritetään syötteet sisäympäristön järjestelmäsuunnitteluun ja energia-laskentaan.

- Sisäympäristön pitkän aikavälin arvio laskentojen ja mittausten tulosten perusteella.
- Mitä mittauksia voidaan käyttää tarkastusten yhteydessä.
- Identifioida parametrit, joita voidaan käyttää sisäympäristöjen monitorointiin ja raportointiin.
- Määritellä eri kriteereille erilaisia luokittelukategorioita, joita voidaan käyttää.

Standardi soveltuu rakennuksille, jotka suunnitellaan lähtökohtaisesti viihtyvyyskriteerien pohjalta, tällaisia ovat esimerkiksi asuinrakennukset, toimistorakennukset, koulurakennukset, sairaalat, hotellit ja ravintolat. Standardia voidaan hyödyntää kansallisten laskentamenetelmien pohjana [32]. Sisäympäristön luokittelun ei ole tarkoitus kuvata joka hetki pysyvää sisäympäristöä, vaan pikemminkin kuvata rakennusta keskimääräisesti [36].

2.8 Käyttäjätyytyväisyyden määrittäminen eri sertifiointijärjestelmissä

Rakennuksia luokitellaan erilaisilla ympäristöluokitusjärjestelmillä. Näiden luokitusjärjestelmien tarkoituksena on tuottaa lisäarvoa rakennukselle. Yleensä luokituksen hakeminen on suhteellisen hintava projekti. Luokituksissa vertaillaan esimerkiksi kiinteistöjen ympäristövaikutuksia, energiankäyttöä, sisäympäristöä, liikennehyteyksiä ja resurssien käyttöä.

2.8.1 LEED

LEED luokituksessa rakennus saa yksittäisiä pisteitä tiettyjen kriteerien täyttymisestä. Kriteerit liittyvät tontin ympäristöystävällisyyteen, veden käyttöön, energian käytön ympäristöystävällisyyteen, materiaaleihin, sisäympäristön laatuun ja innovatiivisuuteen. Osiot sisältävät pakollisia kriteereitä sekä joukon yksittäisiä kriteereitä, joiden täyttymisestä saa pisteen. Parhaan luokituksen saavuttaa yli 80 pisteellä. Sisäympäristön laatuun liittyviä pisteitä on mahdollista kerätä 15. Suurin osa viihtyisyyspisteistä liittyy suunnitteluparametreihin, tyytyväisyyden määrän selvittämiseen sekä henkilökohtaisen säätömahdollisuuden tarjoamiseen.

IEQ Credit 7.1: Thermal Comfort—Design

Yhdysvalloissa lämpöolot tulee suunnitella ASHRAE standardin 55-2004 pohjalta. Suunnitelma osoitetaan standardinmukaiseksi standardin osan 6.1.1 mukaan. Muualla kuin Yhdysvalloissa dokumentointi voidaan suorittaa paikallisella vastaavalla

tavalla. Euroopassa rakennuksen tekniset järjestelmät ja vaippa suunnitellaan paikallisten määräysten mukaisesti. Rakennuksen käyttäjien odotettu tyytyväisyys arvioidaan ottaen huomioon ilman lämpötila, pintojen lämpötilat, ilman liike ja suhteellinen kosteus samanaikaisesti huomioon. Nämä kriteerit suunnitellaan yhdessä muiden ilman jakoon ja monitorointiin liittyvien seikkojen kanssa.

IEQ Credit 7.2: Thermal Comfort—Verification

Tämä on edellisen lisäkrediitti. siinä vaaditaan pysyväluontoista monitorointia ilman olosuhteista.

"Agree to conduct a thermal comfort survey of building occupants within 6 to 18 months after occupancy. This survey should collect anonymous responses about thermal comfort in the building, including an assessment of overall satisfaction with thermal performance and identification of thermal comfort-related problems. Agree to develop a plan for corrective action if the survey results indicate that more than 20 % of occupants are dissatisfied with thermal comfort in the building. This plan should include measurement of relevant environmental variables in problem areas in accordance with the standard used for design in IEQ credit 7.1: Thermal Comfort—design. residential projects are not eligible for this credit."

Kyselyn suorittamiseen suositellaan ASHRAE/ANSI 55 standardia. Kouluissa kyselyyn vastaavat aikuiset sekä opiskelijat luokka-asteelta 6 lähtien. Sairaalaympäristöjen arvioinnissa suunnittelun kriteeri ja palautteen kerääminen antavat ainoastaan yhden yhdistetyn pisteen. Lisäksi korjaavien toimintojen tekemiseen yhdistetään relevantin sisäympäristömuuttujan mittaaminen. Myös muiden tyyppisissä uudisrakennuksissa käytetään samantyyppisiä kriteerejä paitsi kodeissa, joissa sisäilman laatu määritetään mitattavissa olevilla suureilla ja teknisillä yksityiskohdilla.

Olemassa oleville rakennuksille suoritetaan anonyymi asiakastyytyväisyyskysely kattuen lämpöviihtyvyyden, akustiikan, ilman laadun, valaistustasot, rakennuksen puhtauden ja muut mukavuustekijät. Kyselyyn tulee vastata vähintään 30% kaikista käyttäjistä. Kyselyn tulee sisältää kyselyosiot yleisestä tyytyväisyydestä sekä eri epämuukavuustekijöiden tunnistamismahdollisuuden. Tutkimus tehdään vähintään 2 vuoden välein. Myös suunnitelma havaittujen epäviihtyvyystekijöiden korjaamiseksi on oltava sekä tehdyt korjaustoimenpiteet on osoitettava.

2.8.2 Rakennusten elinkaarimittarit

Green Building Council Finlandin (GBC Finland) rakennuksen elinkaarimittarit ovat suomalainen rakennusten suunnittelu- ja käyttövaiheen ympäristösertifikointijärjes-

telmä, jossa rakennusta ei luokitella johonkin yleiseen luokitukseen, vaan se on enemmän rakennuksen indikaattorimittaristo, jolla on helppo viestiä rakennuksen ympäristötehokkuutta.

Tyytyväisyyskyselyt ovat osa mittaristoa ja ne toimivat suunnitteluvaiheen tavoitteiden asettamisen ja käyttövaiheen suorituskvyn seurannan työkaluna. Sisäilmasto tulee varmentaa kovilla mittauksilla ja kyselyillä ensimmäisen käyttövuoden aikana. Viihtyvyysskysely tehdään 1-3 vuoden välein sisältäen viisi osa-aluetta:

1. Lämpöviihtyisyys jäähdytyskaudella (kesällä) ,
2. Lämpöviihtyisyys lämmityskaudella (talvella),
3. Huoneilmanlaatu (hajut, tunkkaisuus),
4. Valaistusolosuhteet, ja
5. Ääniolosuhteet (meluisuus, akustinen yksityisyys).

Kysymykset poikkeavat suuresti kyselyistä, joita yleensä käytetään sisäilmaston laadun arviointiin. Kysymykset muistuttavat CBE:n internet-kyselyn kysymyksiä, jolla on mahdollista selvittää sisäilmasto-ongelmia ja jolla on kerätty tutkimusmiellessä valtavia määriä dataa. [13] Kysymyksiin vastataan seuraavanlaisella asteikolla:

- +3 erittäin tyytyväinen
- +2 tyytyväinen
- +1 osittain tyytyväinen
- 0 neutraali
- 1 osittain tyytymätön
- 2 tyytymätön
- 3 erittäin tyytymätön

Tyytymättömiltä voidaan tarvittaessa kysyä tarkentavia kysymyksiä. Tyytymättömyyden aste päätellään semanttisesti vastausvaihtoehdoista. Tyytymättömyyden kriteeri on vastaus miinusmerkkisiin kategorioihin. Tavoitteena pidetään sitä, että negatiivisia vastauksia kysymykseen annetaan enintään 25%, tämä on myös osalueiden keskiarvotavoite. Jos yli 25% ihmisistä on tyytymättömiä, tehdään ongelmakohdan katselmus ja ongelmien syyt selvitetään. Kysely ajoitetaan pian lämmityskauden tai jäähdytyskauden loppumisen jälkeen, jotta ihmisillä on muistissa joko lämmitys- tai jäähdytyskausi. Sisäilmastoa arvioidaan kokonaisuutena tunnepohjaisesti. Menetelmä on suuripiirteinen ja epäselväksi voi jäädä tyytymättömyyden syyt sekä tarkemmat toimenpidepotentiaalit, jos myöhempää katselmusta ei suoriteta. Tyytymättömyyden määrän laskentatapa on ristiriidassa standardin EN 10551 kanssa, jossa tyytymättömien osuus lasketaan vain heikoimmasta kategoriasta.

Taulukko 2.7: Ruotsin Miljöbyggnad-luokitusjärjestelmä. Taulukossa listattu tyytyväisyyskyselyitä vaativat kriteerit[8]

Kriteeri	Pronssi	Hopea	Kulta
PPD ja tietokone-simulointi talviaikaan	$PPD \leq 20\%$,mikä osoitetaan tietokonesimulaatiolla.	$PPD \leq 15\%$,mikä osoitetaan tietokonesimulaatiolla.	$PPD \leq 10\%$, mikä osoitetaan tietokonesimulaatiolla. Kyselyn tulokset osoittavat, että vähintään 80% vastanneista pitää lämpöviihtyisyyttä erittäin hyvänä, hyvänä tai hyväksyttävänä.
PPD ja tietokone-simulointi kesäaikana	$PPD \leq 20\%$,mikä osoitetaan tietokonesimulaatiolla.	$PPD \leq 15\%$,mikä osoitetaan tietokonesimulaatiolla.	$PPD \leq 10\%$, mikä osoitetaan tietokonesimulaatiolla. Kyselyn tulokset osoittavat, että vähintään 80% vastanneista pitää lämpöviihtyisyyttä erittäin hyvänä, hyvänä tai hyväksyttävänä.

Elinkaarimittareiden arviointiin on mahdollista käyttää luovia kyselykeinoja, mutta kysymykset ja vastaukset on tarkasti määritelty. Tämä lisää tulosten vertailukelpoisuutta ja tulokset myös kertovat yksiselitteisesti tyytyväisyydestä. Ihmetystä herättää tavoitteena pidettävä osioiden keskiarvo on sama kuin tyytymättömyyden arvo, joka edellyttää toimenpiteitä. Toimenpiteitä jäävät rakennukset suoriutuvat välttämättä keskiarvotavoitteen paremmalle puolelle.

2.8.3 Miljöbyggnad

Sweden Green Building Councilin vastine rakennusten elinkaarimittareille on Miljöbyggnad. Järjestelmässä eri kriteerit voivat saada luokituksen pronssi, hopea tai kulta, joissa kaikille tasoille on määritelty tason saavuttamisen ehdot. Jos rakennus tavoittelee hopeasertifikaattia, ei ole syytä tehdä tarkastelua ylemmän tason tarkasteluita. Tietyn tason voi myös saavuttaa, vaikka jokin kriteereistä saavuttaisi yhden pykälän alemman tason.

Vain korkein luokitus vaatii sisäilmastokyselyn. Muiden luokkien kriteerit vaati-

vat vain tietokonesimulaation ¹. Miljöbyggnad ei määrittele tyytyväisyyskyselyille tarkkaa menetelmää ruotsalaiseen tapaan, mutta määrittelyn tyytymättömien prosenttiosuus lasketaan sisäilmastoa ei-hyväksyttävänä pitävistä ihmisistä, joten kyselyissä voi käyttää esimerkiksi rakennusten elinkaarimittareiden mukaisia kyselyitä. Taulukossa 2.7 eri tasojen vaatimukset Miljöbyggnad-luokituksessa.

2.9 Tilastollisia seikkoja

Tilastollisen tarkastelun kannalta on määritettävä tulosten tarkkuustaso, joka määritellään osallistuvien ihmisten määrästä. Tilastolliset menetelmät on suunniteltu suurille vastaajajoukoille. Jos esimerkiksi yhden toimiston vastaukset eivät anna tarpeeksi korkeaa vastaajamäärää, on mahdollista yhdistää tuloksia. Mikäli rakennuksessa on esimerkiksi kahdeksan kappaletta 10 vastausta antaneita toimistoja, yhden toimiston vastauksista ei ole helppo tehdä kuin hyvin yksinkertaisia tilastollisia päätelmiä. Kun toimistojen vastaukset yhdistetään, saadaan 80 vastauksen otos, jolla saadaan kattava kuva rakennuksen tilanteesta.

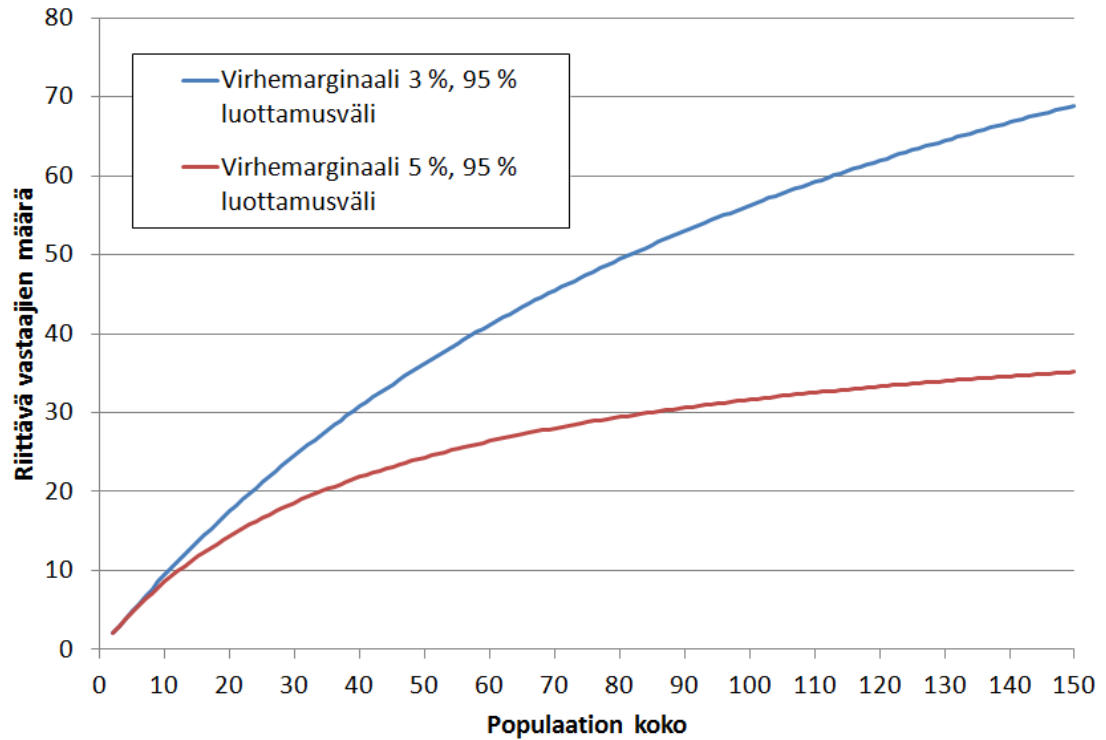
Mikäli kyselyt on tehty siten että paikka voidaan yhdistää vastauksiin, voidaan tätä tietoa käyttää ongelmien ilmaantuessa niiden tarkempaan paikallistamiseen. Esimerkiksi jos selkeästi suurin osa negatiivisista vastauksista tulee esimerkiksi tietyistä kerroksista, osataan paikallisia ongelmia ryhtyä selvittämään.

Tilastolliset analyysit mahdollistavat erilaisten hypoteesien testaamisen. Voidaan testata esimerkiksi, onko jossain tuntemusten suhteen tapahtunut muutoksia tai onko tyytyväisten osuus yli 80 %. Jatkuvan olosuhdekyselyn suuri etu on kerran tehtävään asiakastyytyväisyyskyselyyn verrattuna se, että rakennuksessa tapahtuvia muutoksia voidaan säännöllisesti seurata ja ongelmien ilmetessä tarttua toimeen.

2.9.1 Otanta ja otoskoko

Asiakastyytyväisyyskysely perustuu tilastolliseen otantaan. Tilastollisesti tutkimuksen kannalta populaatio on rakennuksen mahdolliset käyttäjät ja otanta on se osuus ihmisistä, joka on saatu osallistumaan sisäilmaston arviointiin vastaamalla. Riittävän vastaajien määrän arviointi on tärkeää tulosten luotettavuuden arvioinnissa. Tärkeää on tietää populaation koko, luottamustaso, virhemarginaali sekä populaatiovarianssi. Käytetään tulosten arviointiin Cohranin otoskoon kaavaa jatkuvalla datalla [5]. Olosuhdekyselyille on tavanomaista olettaa data jatkuvaksi sillä kategoriat ovat järjestyksessä sekä kokemuksen mukaan myös hyvin tasajakoisia. Jatkuvan datan tapauksessa pärjätään kategorista dataa pienemmillä otosko'oilla. Tarvittava vastaajien määrä on:

¹Käytettävä huonekohtaista dynaamista laskentaa, joka laskee PPD:n oleskeluvyöhykkeellä ilman auringonsäteilyn vaikutusta. Laskenta voidaan suorittaa käyttäen ProClim, IDA Klimat och Energi, TeknoSim, ParaSol tai vastaavaa ohjelmistoa



Kuva 2.5: Populaation koon vaikutus tarvittavaan vastaajien määrään 7-portaisella asteikolla populaatiokeskihajonnan ollessa 1,2

$$n_0 = \frac{t^2 s^2}{d^2} \quad (2.7)$$

, s on arvioitu populaatiokeskihajonta, d on keskiarvon hyväksyttävä virhemarginaali ja t on Studentin t -jakauman arvo. Studentin t -jakauman arvo määritetään vastaamaan valittua luottamusväliä, joka olosuhdekyselyjen tapauksessa on 95 %. Mikäli otoskoko on yli 5 prosenttia populaatiokoosta, otoskoko on tehdään korjaus:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{n_{pop}}} \quad (2.8)$$

n on tarvittava otoksen koko ja n_{pop} tarkoittaa koko populaation kokoa. Luottamusväliksi valitaan 95 %, joka on soveltuva arvo sisäilmastotutkimuksiin, joissa halutaan luotettavaa tietoa, mutta jossa ei voida odottaa vastauksia jokaiselta populaatioon kuuluvalta. Myös virhemarginaaliksi hyväksytään 5 %. Tämä tarkoittaa, että tulokset saadaan vähintään 5 % tarkkuudella 95 % tapauksista.

Seitsemänportaiselle asteikolle keskiarvon virhemarginaali on $0,05 * 7 = 0,35$. t -arvo saadaan joko taulukkotiedoista tai soveltuvalla ohjelmistolla laskemalla. Varianssiksi oletetaan 1,2; joka on konservatiivinen arvio tavanomaisista lämpötunteuskyselyiden variansseista. Tavallisesti varianssit ovat luokkaa 0,8-1. Kuvassa 2.5

on esitetty Cochranin otoskoon kaavan tuloksia 3 % ja 5 % luottamustasoille lasketuna tässä esitetyillä parametreilla.

2.9.2 Vastaamattomuusvinouma

Vastaamattomuuden määrä ja sen syyt on hyvä tunnistaa koska sillä voi olla suuria vaikutuksia tuloksiin. Jos esimerkiksi vastausprosentti on 60 %, jäljelle jää 40 % vastaajista. Mikäli vastaamatta jättämiseen on olemassa kollektiivinen syy, voivat otoksen antamat tulokset poiketa populaatiosta merkittävästi. Tilastolliset luottamusrajat perustuvat siihen, että vastanneet ja vastaamattomat ryhmät ovat jotakuinkin homogeenisiä. Sisäilmastotutkimuksen yhteydessä voisi esimerkiksi tapahtua siten, että tyytymättömät vastaavat kyselyyn, mutta tyytyväinen osa populaatiosta jättää vastaamatta. Tämä voisi johtaa väärin johtopäätöksiin sisäilman olosuhteista.

Suuri vastausprosentti antaa parempia tuloksia, mutta edes suuri vastausprosentti ei takaa erheettömiä tuloksia. Vastaamattomuusvinoumaksi kutsutaan vastaamatta jättäneiden luomaa eroa siihen tilanteeseen, että koko populaatio olisi antanut vastaukset. Vastaamattomuusvinoumalle on yhtälö: [42]

$$Vastaamattomuusvinouma = n_{nr}(\bar{x}_{res} - \bar{x}_{pop}) \quad (2.9)$$

Yhtälössä P_{NR} on vastaamattomien osuus populaatiosta, \bar{x}_{res} on saatuihin vastauksiin liittyvä keskiarvo ja \bar{x}_{pop} on vastaava populaatioon liittyvä keskiarvo. Populaatioon liittyvä muuttuja on aina vakio, mutta sitä ei voida tietää, elleivät koko populaation vastaukset ole tiedossa. Yhtälöstä nähdään, että sekä vastaamattomien määrä että saatuihin vastauksiin liittyvä keskiarvo vaikuttavat vinouman määrään. Yhtälöllä voidaan esimerkiksi tutkia ääritapauksia vastaamattomien vastauskäyttäytymisestä ja samalla huomataan, että pelkkä vastausmäärien nostaminen ei riitä tutkimuksen luotettavuuden parantamiseen. Erilaiset osapopulaatiot on saatava mukaan vastausten antamiseen.

2.9.3 Vastausten määrää ja laatua ylläpitävät toimenpiteet

Koska riittävät vastaajamäärät sekä vastausten edustavuus vaikuttavat saataviin tuloksiin merkittävästi, on näiden edistämiseksi tehty paljon tutkimustyötä. Erityisesti toistuvaluonteisessa kyselyssä vastausmotivaatio voi heiketä, jolloin ollaan tekemisissä vinouman ennustamisen ja tulosten luotettavuuden arvionnin kanssa.

Rogelberg ja Stanton [42] kokosivat tunnettuja menetelmiä vastausmäärien ylläpitämiseksi sekä vastaamattomuusvinouman arvioimiseksi organisaatiokyselytutkimuksissa. Vastausmäärien ylläpitoon liittyvät menetelmät ovat helpommin toteutettavissa ja suurin osa niistä on yhdistettävissä kyselyn suoritusmenetelmään. Kei-not vastaamattomuusvinouman analysointiin ovat hankalampia ja vaativat suurta

tietokantaa ja kontrollikysymyksiä. Näistä vain hyvin harvat ovat sovellettavissa lyhyeen olosuhdekyselyyn.

Ennakkoon annettu tiedotus auttaa ihmisiä asennoitumaan tutkimukseen ja kiinnittämään huomiota kyseessä oleviin asioihin. Tiedotuksesta on selvittävä kyselyn tarkoitus ja merkitys. Mikäli ihminen tuntee, että hänen vastauksellaan on merkitystä, hän on motivoituneempi vastaamaan. Tiedotus on myös hyvä järjestää tunnetun ja auktoriteettia omaavan henkilön kautta. Tiedotus kannattaa hoitaa toimiston sihteerin tai vastaavan kautta. Liiallinen tiedottaminen voi myös johtaa kyselyyn kylästäymiseen ennen kuin sitä on ehditty edes tekemään. Tutkittaville on hyvä saada positiivinen mielikuva kyselystä. Heidän on tiedettävä, että kyselyä tehdään heidän oman hyvinvoinnin takaamiseksi.

Myös kyselyissä vastaajaystävällisyys ja käytettävyys ovat tärkeitä. Kysely ei saa olla liian pitkä tai merkityksettömän lyhyt. Helppous ja visuaalinen miellyttävyys auttavat myös vastausten keräämisessä. Myös tulosten yhteenvedon julkistaminen on tärkeää. Vaikkei tämä auta meneillään olevaan kyselyyn, on sillä suuri vaikutus vastausmäärien säilymiseen tulevissa kyselyissä. Kyselyn vastaajat ovat tutkimuksen tekijälle tärkein resurssi. Ja resurssia on arvostettava ja sen mielipiteitä on osattava kuunnella. Vastaajien kyllästyttäminen voi johtaa siihen, että tuloksia on entistä vaikeampi kerätä.

Lyhyissä olosuhdekyselyissä liian pienet vastausmäärät ovat merkittävin tulosten vinoumaan vaikuttava asia. Jos vastausmäärät saadaan korkealle, on jäljellä olevasta vastaamattomuudesta suurin osa niin kutsuttua passiivista vastaamattomuutta, mikä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että ihminen ei ole huomannut kyselyä. Nämä henkilöt voidaan tarvittaessa tavoittaa myöhemmin sähköpostilla. Koska tutkimusten mukaan passiivisten vastaamattomien vastaukset eivät juuri eroa kyselyyn vastanneiden vastauksista, ei tästä menettelystä olisi suurta hyötyä. Aktiivinen vastaamattomuus tarkoittaa tietoista vastaamatta jättämistä esimerkiksi periaate- tai protestointisyyistä. Heitä on vaikea tutkia kyselyn perusteella ja tutkimuksen positiivinen mielikuva on paras keino vähentää aktiivisten vastaamattomien osuutta.

Myöhään vastanneiden ja aikaisin vastanneiden joukossa voi olla eroavaisuuksia. Ja näiden ryhmien välinen eroavaisuus indikoi vastaamattomuusvinouman olemassaolosta. Myöhään vastanneet tulkitaan lähes vastaamattomiksi ja vastaamattomien kantaa on mahdollista tällä tavoin analysoida.

3. TUTKIMUSMENETELMÄN KUVAUS

Tutkimuksen käytännön osuudessa etsitään soveltuvaa menetelmää rakennuksen käyttäjien sisäilmastokokemuksen selvittämiseksi. Tutkimuksessa verrataan erilaisia palautteenkeruumenetelmiä ja kuinka tarkkaa tietoa ne antavat käyttäjien kokemasta sisäilmastosta. Tutkimuspaketin hengessä suoritettiin käytännön kokeita valvotuissa olosuhteissa olosuhteissa. Olosuhteista ja muista tilannesidonnaisista asioista yritetään löytää merkkejä esimerkiksi olosuhteiden vaikutuksesta koettuun sisäilmastoon.

Tutkimus koostui yhteensä kolmesta käytännön demosta. Ensimmäisessä demosssa käytettiin menetelmää, jonka tarkoitus oli kerätä kiinteistöstä suuri määrä dataa useassa kiinteistössä. Toinen demo suoritettiin käyttäen hieman tarkempaa kyselyä kahtena eri versiona, joiden tarkkuus on verrattavissa standardissa EN15251 kuvattuun subjektiiviseen menetelmään. Tuloksia tullaan vertaamaan myös kiinteistön varsinaisiin olosuhteisiin. Kolmas demo tehtiin valvotuissa olosuhteissa noin 200 henkilön luentosalissa. Identtinen populaatio tutkittiin kahtena päivänä erilaisissa olosuhteissa. Tässä tutkittiin ihmisten sisäilmastotuntemuksen muuttumista olosuhteiden vaikutuksesta. Käytännön demojen havainnot on esitetty luvussa 4.

3.1 Eri palautteenkeruun tasot

Tutkimuksessa haluttiin testata eritasoisia tutkimuksia sisäilmastopalautteen keräämiseksi. Tasoja määritellään tutkimusta varten kolme. Tasolla 1 selvitetään ihmisen tyytyväisyys sisäilmastoon tasolla kyllä tai ei. Tällä tasolla on mahdollista saada kysyttyyn asiaan tyytyväisten osuus selville. Kuitenkin arvion syyt ja tarkempi analysointi on mahdotonta. Tutkimuksessa on mahdollista käyttää erilaisia kysymyksiä eri osatekijöiden erottamiseksi toisistaan.

Tasolla 2 saadaan kuva rakennuksen lämpöviihtyisyydestä sekä sisäilman laadusta nopealla kyselyllä. Kysymysten määrä on mahdollisimman pieni, jotta sisäilmastokokemus saataisiin selville helposti. Tutkimusta varten määriteltiin kaksi erilaista tämän tason kysymyssarjaa. Kyselyn taso on laajuudeltaan lähes standardissa EN15251 [54] kuvatun subjektiivisen arvion mukainen.

Tasolla 3 suoritetaan perusteellinen selvitys sisäilman olosuhteista. Tämän tason kyselyä käytettiin referenssinä alempien tasojen kyselyiden tarkastelussa ja arvioinnissa. Tämän tason kysely voi olla sisäilmatutkimus tai standardinmukainen kysely,



Kuva 3.1: Tason 1 kyselyissä käytetty palautteenkeruulaitteisto

jolla tehdään sisäilmastoon liittyviä selvityksiä johonkin erityistapaukseen liittyen.

3.1.1 Tason 1 tyytyväisyystutkimuksen suorittaminen

Tason 1 kyselyiden suorittamiseksi vaihtoehtoja etsittiin kahdesta erilaisesta järjestelmästä, joista valittiin neljäpainikkeinen ilman ulkoista virtalähdettä toimiva laitteisto, johon haluttu kysymys oli vaihdettava käsin. Laitteessa oli neljään painikkeeseen laitettu kuvaksi vastausta kuvaava hymiö. Toinen testattu järjestelmä sisälsi etähallittavan näytön sekä vihreän sekä punaisen painikkeen. Tämä järjestelmä ei edennyt käytännön testeihin.

Testatun kyselyn laite on kuvan 3.1 mukainen. Eri painikkeille ei ole määritelty erityistä sanallista ilmaisu, vaan värien ja hymiöiden tulkinta jää vastaajan vastuulle. Laitteen näppäimiä tulkitaan kuitenkin siten, että punaiset painikkeet surullisilla hymiöillä edustavat tyytymättömyyttä ja vihreät painikkeet iloisilla hymiöillä edustavat tyytyväisyyttä. Ääripäiden painikkeet edustavat vakavampaa tyytyväisyyden tai tyytymättömyyden tasoa.

Testatun laitteiston kyselyiden vastausten tarkasteluun oli käytössä web-

selaimella toimiva internetpalvelu, jossa tuloksia sai tarkastella prosenttipylväinä sekä vastausmääräpylväinä. Tulokset olivat tarkasteltavissa päivien, viikkojen ja kuukausien mukaan jaoteltuna. Tuloksiin liittyi myös indeksi, joka lasketaan keskiarvoina antamalla painikkeille lukuarvot $0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1$. Kysymystä vastaavat tulokset sai jaoteltua tutkimuksiin, jonka avulla myös myöhemmin pääsee käsiksi tiettyyn kysymykseen ja vertailut ovat helppoja. Tulokset on mahdollista saada myös csv- ja pdf-muotoisena raporttina.

Vastaamisen kannalta laite oli helppo, mikäli kysymys oli hyvin laadittu. Haasteet laitteen käytön kannalta liittyivät kysymyksen asetteluun ja suuren laitemäärän hallinnointiin. Laitteistoja oli käytössä 20 ympäri Suomea, joista 9 yliopistotiloissa, 9 toimistorakennuksissa sekä 2 ammattikorkeakoulutiloissa. Laitteet sijoitettiin joko rakennuksen tietyn kerroksen aulatilaan tai luentosalien tapauksessa, heti salin uloskäynnin jälkeen. Aulaan sijoituilla laitteilla pyrittiin selvittämään koko kerroksen tyytyväisyystaso. Kyselyitä tehtiin myös konetalon tilamuutoksien jälkeen selvittämään sisäympäristötekijöitä.

Laitteita pidettiin paikallaan 2 viikkoa kerrallaan, jonka aikana pyrittiin keräämään suuri määrä vastauksia. 2 viikon jälkeen laitteet siirrettiin seuraavaan paikkaan ja kahden viikon päästä takaisin uudella kysymyksellä. Tuloksista vertailtiin vastaajamääriä sekä vastausten jakaumaa.

3.1.2 Tason 2 tyytyväisyystutkimuksen suorittaminen

Tason 2 kyselyihin etsittiin toteutustapaa erilaisista vaihtoehdoista. Tason kyselyihin vaihtoehdot olivat kosketusnäyttölaite tai kaksipainikkeisella järjestelmällä toteutettu kysymyssarja. Kosketusnäyttölaitevaihtoehdolla päätettiin tehdä demokyselyitä.

Varsinaisia laitemahdollisuuksia olivat Schneider Electricin Magelis-kosketusnäyttöpaneeli ja iPad ohjelmistoinen. Magelis kosketusnäyttöpaneeli on tarkoitettu teolliseen prosessinohjaukseen ja sisälsi ohjelmoitavan logiikan, johon oli mahdollista ohjelmoida kysely sekä tallentaa vastaukset tietokantaan. Kuvassa 3.2 on simulaatio ohjelmasta, joka näyttöpaneeliin ohjelmoitiin. Magelis näyttöpaneeli kuitenkin hylättiin käyttökelvottomuutensa vuoksi. Laite on tarkoitettu kiinteään asennukseen, lisäksi se tarvitsisi erillisen mobiiliverkkomodeemin ja virtalähteen. Laitteen vaste ja kosketustuntuma olivat hyvät.

iPad on tablet-tietokone, jossa on hyvät mahdollisuudet erityyppisille ohjelmistoille. iPad laitteessa on hyvin toimivat ohjelmisto sekä mobiiliverkkoyhteys. Koska laite on yleinen, sille on olemassa myös suuri määrä erilaisia jalustoja ja muita lisätarvikkeita. Laitteelle on olemassa erilaisia asiakaskyselyihin tarkoitettuja ohjelmistoja sekä internet-palveluita.

Laitteen käyttöä tutkittiin toimistokiinteistössä ja ammattikorkeakoulussa. Toi-



Kuva 3.2: Magelis HMI-näyttöpaneeliin ohjelmoitu sisäilmastokyselyohjelma

mistokiinteistö oli kahdeksankerroksinen rakennus, jossa oli kaikki kerrokset kattava atrium-tyyppinen pääaula sekä hissi ja portaat eri kerroksessa sijainneisiin yritysten toimitiloihin. Kyselylaite sijoitettiin rakennuksessa toimistojen tiloihin, tavallisesti aulaan lähelle poistumisväylää. Laitteen sijoittamista helpotti se, että toimistoissa oli vain yksi uloskäynti. Kuvassa 3.3 on esimerkki laitteen sijoittamisesta. Ammatikorkeakoulun tiloissa laitteet sijaitsivat poistumisauloissa ympäri kampusta.

Tason 2 kyselyitä oli 2 eri versiota, joista toinen mukaili enemmän eurooppalaista standardia EN 15251 ja toinen rakennusten elinkaarimittarien mukaista kyselyä. Kyselyssä käytettiin taulukossa 3.1 esitettyjä kysymussarjoja.

3.2 Käytetyt olosuhdemittaukset

Toimistokiinteistöjen tason 2 kyselyvastausten analysoinnin apuna käytettiin rakennuksen automaatiojärjestelmän antamia tietoja. Anturina kyseisessä kiinteistössä on käytetty $1,8k\Omega$:n termistorilämpötila-anturia. Tämä antaa lämpötilamittauksen $\pm 0,35^\circ\text{C}$ tarkkuudella.

Luentosalissa suoritettussa koejärjestelyssä käytettiin kannettavaa mittausjärjestelmää, joka oli yhdistetty Schneider Electricin StruxureWare rakennusautomaati-

Taulukko 3.1: Tutkimuksessa käytetyt kyselyt taulukoituna. (a) Standardia EN15251 mukaileva kysymyssarja. (b) Kiinteistöjen elinkaarimittareiden menetelmää mukaileva kysymyssarja

(a) Kysymyssarja 1		
Oletko nyt viipynyt yli puoli tuntia tässä rakennuksessa?	Millainen on lämpö-tuntemuksesi?	Miten raikkaaksi koet sisäilman?
Yli puoli tuntia	Aivan liian lämmin	Raikas
Alle puoli tuntia	Liian lämmin	-
	Hieman lämmin	-
	Juuri Sopiva	Neutraali
	Hieman viileä	-
	Liian viileä	-
	Aivan liian viileä	Tunkkainen
(b) Kysymyssarja 2		
Oletko nyt viipynyt yli puoli tuntia tässä rakennuksessa?	Kuinka tyytyväinen olet rakennuksen sisäilman lämpötilaan?	Kuinka tyytyväinen olet rakennuksen sisäilman puhtauteen?
Yli puoli tuntia	Erittäin tyytyväinen	Erittäin tyytyväinen
Alle puoli tuntia	-	-
	-	-
	Neutraali	Neutraali
	-	-
	-	-
	Erittäin tyytymätön	Erittäin tyytymätön



Kuva 3.3: Tason 2 kyselyitä suoritettiin telineellä seisovalla iPad laitteistoilla. Laitteistot sijoitettiin poistumisväylille, kuten hissiauloihin vastaamisen helpottamiseksi

tiojärjestelmään ja TCP/IP-tietoliikenneverkon yli toimivaan valvomosovellukseen. Kannettava mittausjärjestelmä koostui kahdeksasta lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta mittaavasta huoneanturista sekä järjestelmästä, jonka avulla mittaustietoa oli mahdollista tallentaa sekä tarkastella.

Kannettavassa järjestelmässä käytettiin Prudual HDHFL-huoneanturia. Valmistaja ilmoitti lämpötila-anturin tarkkuudeksi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ja hiilidioksidimittauksen tarkkuudeksi $\pm 40 \text{ ppm} + 3\%$ lukemasta. Hiilidioksidianturissa oli itsekaliibrointijärjestelmä. Lämpötila-anturit korjattiin näyttämään samaa lukemaa pitämällä niitä mahdollisimman tasalämpöisessä tilassa pitkään ja laskemalla anturikohtaiset korjaukset. Tämä mahdollisti luotettavan analyysin lämpötilaerojen suhteen.

4. KENTTÄKOKKEET

4.1 Tason 1 kyselyjen kvantitatiivinen analyysi

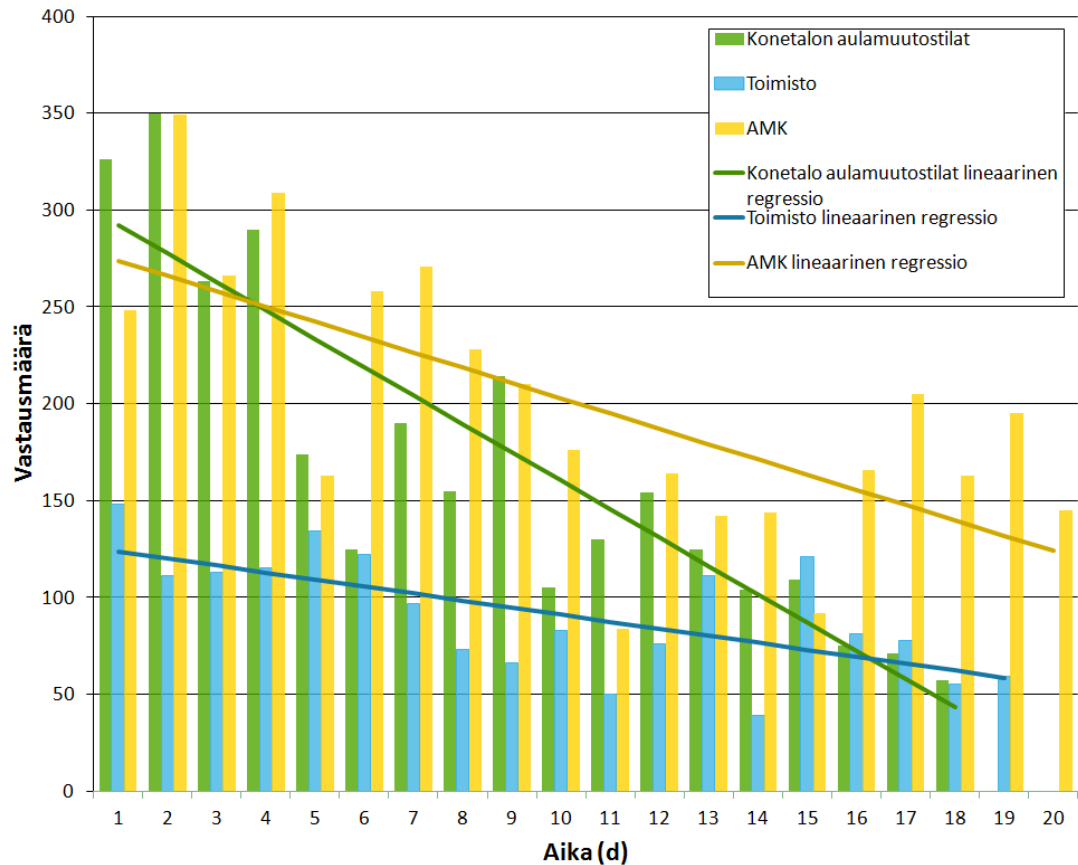
Tason 1 kyselyjä analysoitiin kahdesta näkökulmasta; vastausmäärien kehittymisen näkökulmasta ja tulosten jakauman analysoinnin näkökulmasta. Vastauksia kerättiin toimistokiinteistöissä, Ammattikorkeakoulussa ja TTY:n kampuksella. Ammattikorkeakoulussa kyselyt tehtiin yleisissä tiloissa ja TTY:llä kyselyitä tehtiin luentosaleissa sekä Konetalon aulamuutoksen yhteydessä yleisissä tiloissa. Ammattikorkeakoulu ja toimistokiinteistöjen tapauksessa kyselylaitteet eivät sijainneet tiloissa, joiden sisäilman olosuhteita oli määrä arvioida. Käytännön syistä laitteet sijaitsivat yhteisissä poistumisväylissä, hissiauloissa ja uloskäynnin läheisyydessä.

Kysymyksiä analyysissä on kaksi.

- Koetko sisäilman puhtaaksi?
- Onko tilan valaistus riittävä?

Nämä olivat kysymykset, joista saatiin riittävästi vertailukelpoista dataa vertailun suorittamiseksi. Tuloksia käsiteltiin Excel -taulukkolaskentaohjelmiston funktioita sekä siihen sisällytettyä Visual Basic -ohjelmointikieltä käyttäen. Varmistuksen vuoksi korrelaatiot laskettiin myös MATLAB-ohjelmiston tilastotyökalupakilla.

Laitteiden toimittaja tarjoaa prosentuaalisen keskiarvona lasketun indeksin laskennan. Tämän indeksin anti jäi kuitenkin hyvin tulkinnanvaraiseksi ja vaikeaksi. Vertailussa tunnuslukuna käytettiin yrityksissä suosittua Net promoter scorea (NPS) mukailevaa menetelmää. Menetelmässä kahta alinta kategorialaajaa (punaisia) vastanneiden prosentuaalinen osuus otoksesta vähentää tunnuslukua, korkeinta kategorialaajaa vastanneiden prosentuaalinen osuus otoksesta kasvattaa tunnuslukua ja toiseksi ylin ajatellaan neutraaliksi. Täten saavuttaakseen nollatason, ylintä kategorialaajaa vastanneita tulee olla yhtä paljon, kuin kahta alinta kategorialaajaa vastanneita. Koska odotukset sisäympäristön laatuun tulisi olla jokseenkin positiivisia, on luontevaa antaa neutraalimman vihreän vastausvaihtoehdon olla oletusvastaus eikä sen näin ollen tule vaikuttaa tunnuslukuun. Tämän tunnusluvun huomattiin erottelevan tilat paremmin, kuin puhtaan keskiarvon. Alkuperäisen NPS:n tarkoitus on kuvata yritystä suosittlevien ja siitä pahaa puhuvien ihmisten suhdetta.

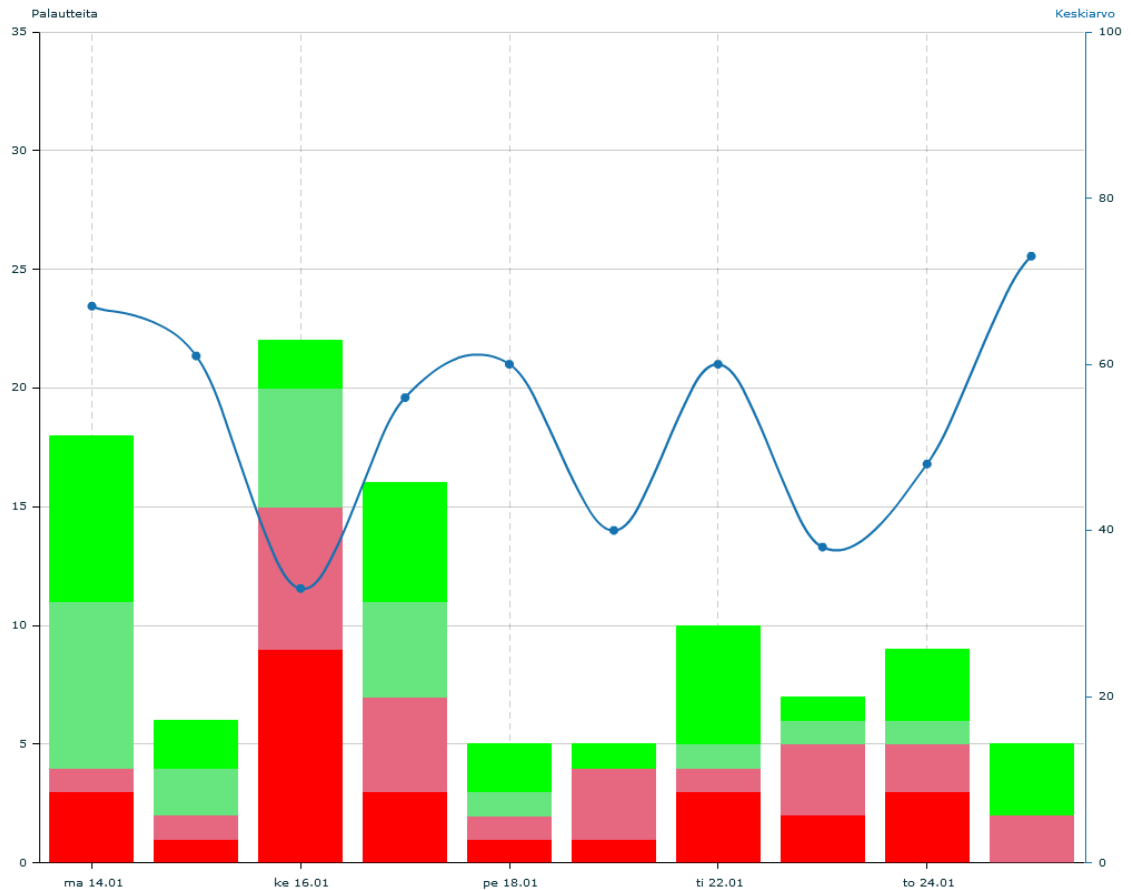


Kuva 4.1: Konetalon remontoitujen aulatilojen, toimistotilojen ja ammattikorkeakoulutilojen kokonaisvastausmäärien kehitys laitteen paikallaolopäivien mukaan pylväsdiagrammina. Viivat ovat lineaarisia regressiosuoria datalle. Kuvasta nähdään vastausmäärien keskimääräinen muutos.

Kyselyn tuloksia vertaillaan kysymyksittäin kokonaisuuksina verrokkitilojen kesken. Tämä tarkoittaa, että vertailu suoritetaan toimistotilojen, luentosalien sekä saman organisaation yleisten tilojen kesken. Tämä tehdään, koska erityyppisten tilojen ja käyttäjien vertailu aiheuttaa sisäympäristötekijöistä riippuvaa virhettä vastauksiin, myöskään korkeakoulujen julkisia tiloja ei verrata keskenään hieman erilaisten kysymysten vuoksi.

4.1.1 Vastausmäärien kehittyminen

Koska kokeen rakennusten käyttäjämäärästä ei ole tietoa, on kiinnostavaa tietää, miten ajan kulumisen vaikuttaa vastausintoon, mikäli laitetta pidetään jatkuvasti samassa paikassa. Ajan kulumiseksi katsotaan kyselylaitteen viettämät päivät samassa paikassa, vaikka laite olisikin välissä toisessa paikassa. Käyttäjät ovat tiloissa jotakuinkin samoja ja heidän vastausintoon arvellaan vaikuttavan sen, kuinka kauan laite on lähiaikoina ollut heidän oleskelupiirissään. Analyysissä lasketaan yhteen päi-



Kuva 4.2: Esimerkki tason 1 kyselystä yhdeltä laitteelta. Vastausten jakaumat voivat vaihdella paljon päivästä riippuen, vastauksia tarvitaan tällä menetelmällä paljon riittäviin tuloksiin pääsemiseksi. Vastaukset on myös laskettava yhteen pidemmältä aikaväliltä.

vittäiset vastaukset toimistotiloissa, AMK:ssa sekä TTY:llä remontoiduissa tiloissa. Luentosaleja ei otettu tarkasteluun mukaan, koska niiden käyttäjämäärät ovat suu- resti riippuvaisia saliin varatuista tilaisuuksista ja käyttäjämäärät voivat näin ollen vaihdella paljon. Päivittäiset vastausmäärät on esitetty kuvassa 4.1.

Vastauksista otettiin ajan kulumisen vastausmäärien regressoriksi ja tarkastel- tiin sen selitysastetta vastausmäärien kehittymiseen. Korrelaatio laskettiin käyttäen Pearsonin korrelaatiokerrointa populaatiolle, tämän perusteella korrelaatio suorat kuvaavat hyvin dataa. Tulokset eivät myöskään ole syntyneet sattumalta ($p < 0,01$) Vastausmäärien perusteella on kiistatonta, että vastausmäärät vähenevät ajan myö- tä. Konetalon demoalueella kyselyt suoritettiin heti uudistetun alueen käyttöönoton jälkeen. Tuloksista on nähtävissä, että tilasta ollaan oltu kiinnostuneita ja tämä on heijastunut korkeina vastausmäärinä alkuvaiheena. Uutuudenviehätyksen nopeas- ta hälventymisestä kertoo se, että vastausmäärät vähenivät alueella toisen päivän 350 vastauksesta viimeisen päivän 57 vastaukseen. Ilman muutoksia olleissa tiloissa vastausmäärät vähenivät vähemmän.

Kyselyn paikallaan pitäminen vähentää vastausmääriä, mikäli yhtäläinen tai osittain yhtäläinen ihmismassa oleskelee samoissa tiloissa, voi vastausmäärät pudota jopa 10 % päivässä. Vastausmäärät pysyvät kohtuullisina ensimmäisen viikon ja toisella viikolla vastausmäärät laskevat reilummin. Oppilaitoksissa perjantai vaikutti vastauksiin määriä reilusti vähentävänä tekijänä, tämä on kuitenkin seurausta oppilaitosten pienemmästä käyttöasteesta perjantaisin.

Kyselylaitteita ei olosuhdekyselyissä voi käyttää kalusteina. On tehokkaampaa kerätä nopeasti ydinjoukolta data. Tämä antaa myös mahdollisuuden vertailla tuloksia paikallisiin olosuhteisiin. Olosuhteet ja sää ehtivät muuttumaan esimerkiksi viikon kyselyn aikana useaan kertaan. Paikka johon voi ajatella jatkuvaa kyselyä, on paikka jossa halutaan kerätä satunnaisilta asiakkailta dataa. Tätä lähestymistapaa esimerkiksi monissa palvelupisteissä, jossa on paljon uniikkeja kävijöitä. Tällöin henkilökunnalta ei odoteta vastauksia ja kyselyt liittyvät usein kyseisen palvelupisteen asiakaskokemuksiin.

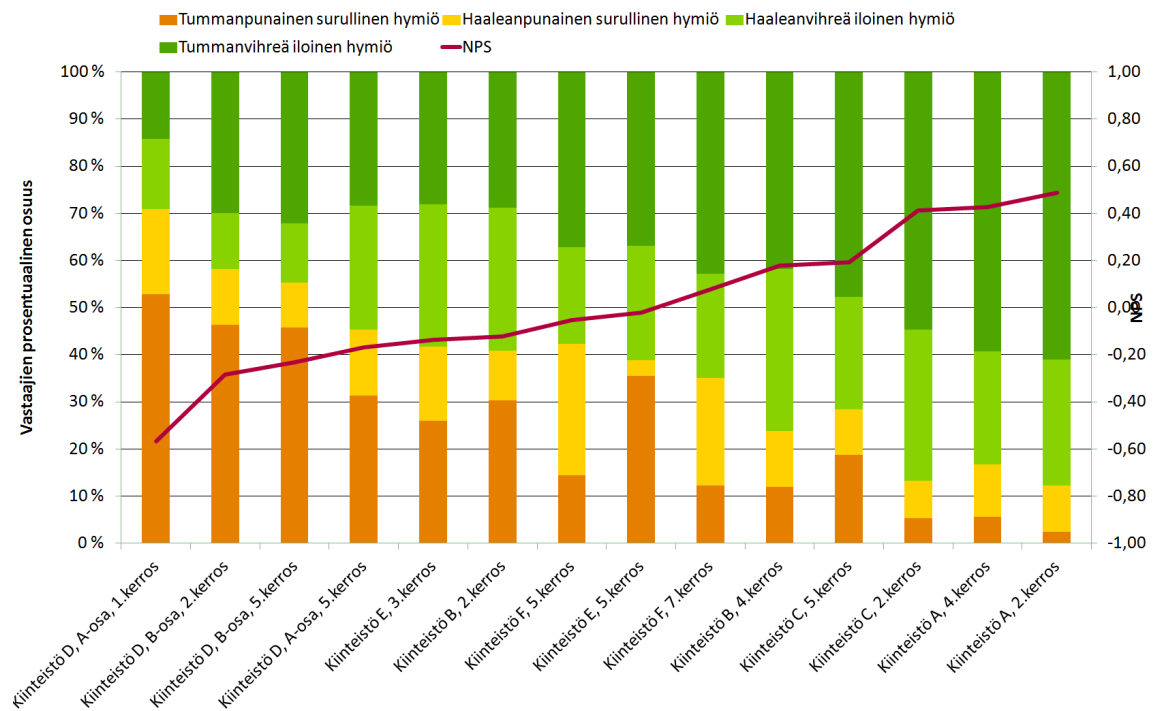
4.1.2 Kyselyjen tulokset toimistokiinteistöissä

Toimistokiinteistöissä tuloksia kerättiin kiinteistöjen hissiauloista. Tästä johtuen vastanneet ihmiset ovat todennäköisesti olleet poistumassa rakennuksesta. Käytetty palautteenkeruumenetelmä perustuu suuriin vastausmääriin ja tulokset kertovat olosuhteiden lisäksi vastaajan asenteesta sekä muiden tekijöiden vaikutuksesta. Kuvassa 4.2 on esitetty esimerkki vastausten vaihtelevuudesta päiväkohtaisesti. Vastaukset vaihtelevat päivästä päivään paljon, joten rakennuksista vertaillaan saatuja tuloksia kahden viikon ajalta ja tulosten oletetaan kertovan enemmän rakennuksesta yleensä kuin hetkellisistä olosuhteista. Vastausmäärät kyselyjaksoilla vaihtelivat 20-250 välillä. Alle 40 vastaajaa keränneissä kohteissa tuloksien ei oleteta antavan riittävän tarkkaa kuvaa tyytyväisyydestä. Nämä kiinteistöt on merkitty kuvaan 4.3. Kiinteistössä D saavutettiin suurimmat vastausmäärät. Vastausten kokonaismäärillä ei havaittu olevan vaikutusta vastauskäyttäytymiseen. Vastausmäärien ero johtuu pääasiassa rakennuksen käyttäjämääristä.

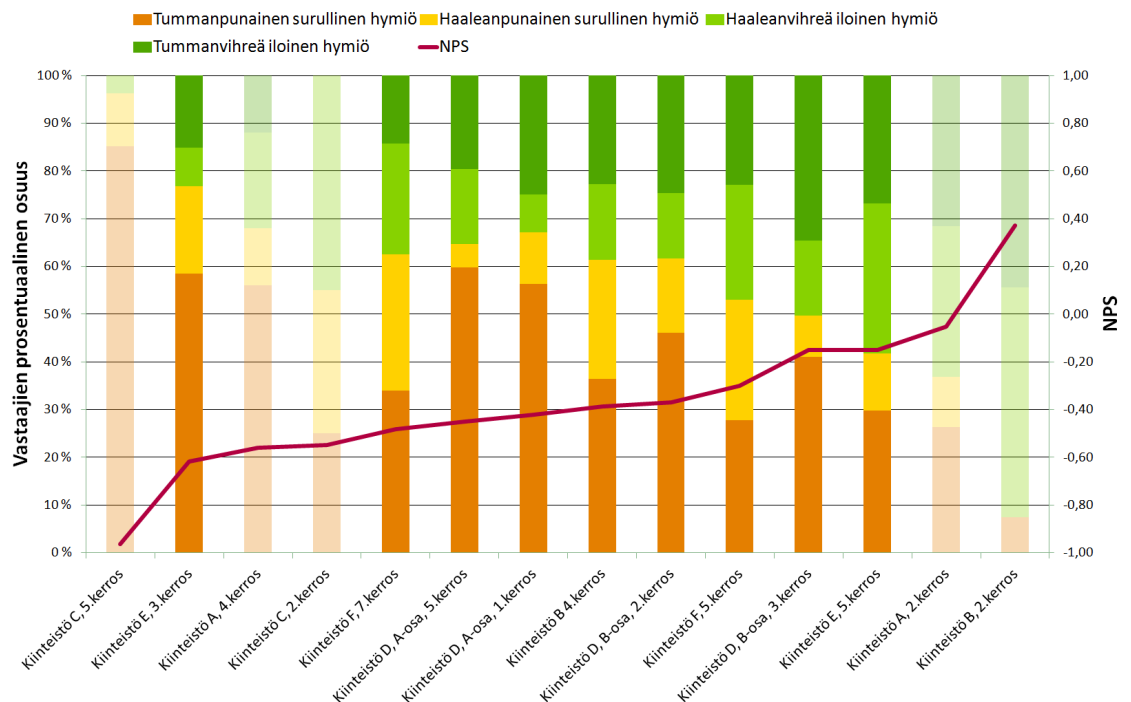
Vertaillaan saman kysymyksen vastauksia samassa kiinteistössä. Toimistotilojen vastauksien jakaumat on esitetty kuvassa 4.3. Keskiarvoista näyttää selvästi löytyvän eroja kiinteistöjen väliltä. Valaistuksen arvioitiin tiloissa olevan keskimäärin paremmalla tasolla, kuin ilman puhtauden.

Suunnittelullisesta näkökulmasta katsottuna valaistuksen voimakkuuden suunnittelu on helpompi asia. Valaistuksen riittävyys vaikuttaa suurimmaksi osaksi valaistuksen määrä. Jos valoa ei ole tarpeeksi, sen määrää voidaan lisätä helposti. Ilman puhtauteen vaikuttaa monet tekijät ja kaikkia epäpuhtaustekijöitä on mahdotonta hallita ilmanvaihdollisin keinoin. Puhtauden kokemukseen voi vaikuttaa myös esimerkiksi tilojen lämpötilat.

(a) Koetko valaistuksen riittäväksi



(b) kuinka puhtaaksi koet sisäilman?



Kuva 4.3: Tason 1 kyselyiden vastaukset toimistokiinteistöissä pinottuina pylväinä. Pylvään pituus edustaa tietyn vastauksen prosentuaalista osuutta tietyssä paikassa. Kuvaajaan piirretty viiva edustaa laskettua NPS-arvoa. Tulokset on järjestetty NPS-arvon mukaisesti nousevaan järjestykseen. Haaleammalla värityksellä olevat pylväät ovat kiinteistöjä, joista saatiin alle 40 vastausta, eikä näitä näin ollen voida pitää luotettavina tuloksina.

Molemmissa kyselyissä on selvästi näkyvillä, että kysymyksestä riippuen kysymyksiin vastataan eri tavalla. Eri kiinteistöt sijoittuvat muihin rakennuksiin nähden erilailla ja tuloksissa ei ole havaittavissa ilmiötä, että molempiin kysymyksiin vastattaisiin samaan tapaan samassa kiinteistössä. Yleisesti valaistuksen tasoa pidettiin ilman puhtautta parempana.

Valaistuksen suhteen vastaukset ovat kiinteistökohtaisesti johdonmukaisempia. Kyselyn mukaan kiinteistössä D on huonoimmat valaistusolosuhteet ja kiinteistössä A ja C parhaimmat. Kiinteistöt D ja C ovat uudehkoja ja muutamia vuosia vanhoja rakennuksia. Kiinteistö A on huomattavasti vanhempi rakennus, valmistunut vuonna 1998.

Valaistuksen keskimääräinen NPS(Net promoter score) tulos on -0,08, joka on hyvin lähellä nollaa. Koska tulosten jakautuminen nollan molemmin puolin on jokseenkin sattumanvaraista ja virhemarginaalit eivät ole tiedossa, on täysin hyväksyttävää olla myös NPS tuloksessa negatiivisella puolella. Valaistuksen laatuksiteerit eivät perustu tyytyväisyyteen, vaan valaistusvoimakkuuden, suuntauksen ja laadullisten asioiden mittaamiseen, jotta se vastaisi eurooppalaisen standardin EN 12464-1:2011 ”Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus” [56] vaatimuksia. Kun erittäin tyytymättömien osuus NPS-asteikolla on noin 30 %, niin NPS-tulos menee alle -0,2. Jos tyytyväisyydestä valaistuksen riittävyys on kysytty, alle tämän rajan tuloksien perusteella on syytä tehdä selvitys tyytymättömyyden syistä.

Toimistokiinteistöissä ilman puhtaus arvioitiin huonoksi. Keskimääräinen NPS ilman puhtauteen oli -0,37, mikä on erittäin heikko arvo. Mikäli tummanpunaisen vastauksen voidaan nähdä edustavan tyytymättömiä vastaajia, on tyytymättömyys kyselyn mukaan kaikissa yli 40 vastausta keränneistä kerroksista 30-60 %. Tämä on suurempi tyytymättömyyden osuus, kuin yleensä ilmanlaadullisista olosuhteista kysyttäessä saadaan. Tästä syystä on ilmeistä, että helppoon palautteen antamiseen tarkoitettu järjestelmä mittaa tyytymättömyyden reilusti yläkanttiin. Tähän voi olla syynä esimerkiksi se, että tyytymättömät ihmiset osallistuvat herkemmin kyselyyn, mahdollisesti myös usean kerran, jolloin toimenpideodotukset saattavat ohjata vastauksia. Myös muut sisäympäristölliset tekijät voivat summautua vastauksiin. Esimerkiksi likainen käytävä voidaan assosioida tiedostamatta ilman puhtauteen. Syynä voi myös olla yksinkertaisesti se, että ilma ei ole riittävän puhdasta. Yleensä ilman tunkkaiseksi kokevia ihmisiä on enemmän, kuin ilman liian lämpimäksi tai liian kuumaksi tuntevia ihmisiä.

Vastauskäyttäytymisessä ei ole kiinteistö- tai vastauspaikkakohtaisesti suuria eroja. Sama kiinteistö voi myös pärjätä kyselyn sijoittelusta riippuen huomattavan eri tavalla. Esimerkiksi kiinteistössä E oli yli 40 vastausta keränneistä tiedonkeruupisteistä sekä suurin että heikoin NPS-tulos. Myös kiinteistössä D on eri osien ja ker-

rosten välillä suuria eroavaisuuksia vastauksissa.

4.1.3 Kyselyjen tulokset luento- ja harjoitussaleissa

TTY:n luento- ja harjoitussaleista vastauksia kerättiin 2 viikon jaksoissa heti, kun opiskelijat olivat poistuneet luentosalista. Luentosaliympäristö tarjosi hallitummat olosuhteet kyselyn tekemiseen. Tässä kyselyssä oli selvää, että vastanneet ihmiset arvioivat samaa ympäristöä. Vastaustenkeruulaitteen sijoittelu liitti vastaukset nimenomaan luentosalin olosuhteisiin. Tämä varmistettiin tekemällä haastattelututkimuksia vastanneille ihmisille. Tulokset luentosalien edustoilta kerätyistä vastauksista ovat kuvassa 4.4.

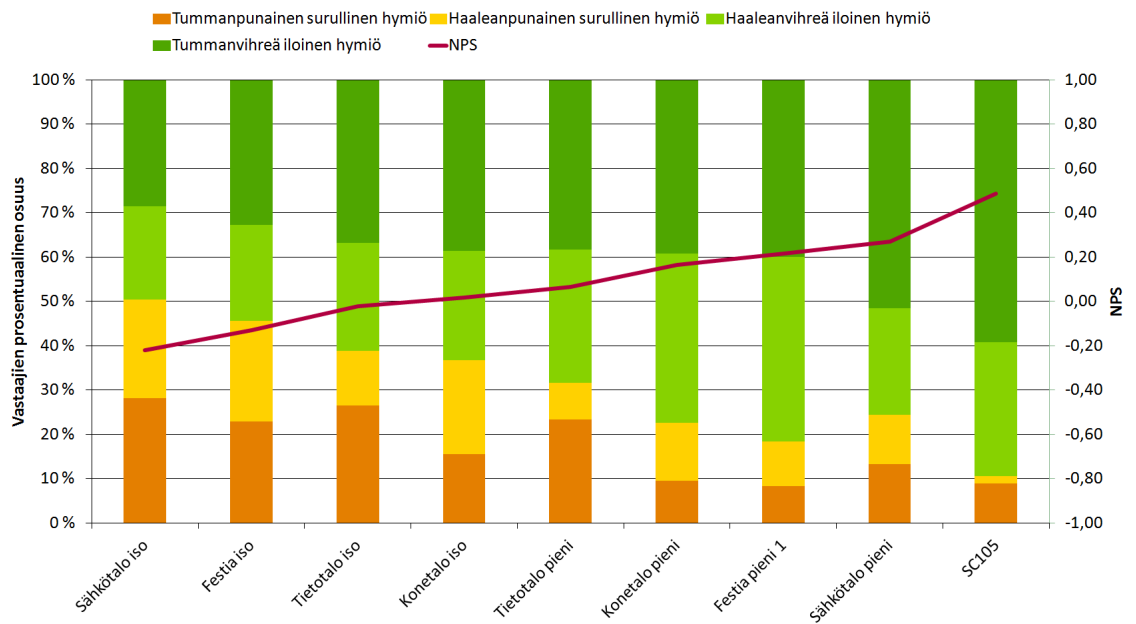
Vastaukset luentosaleissa olivat huomattavasti samankaltaisempia eri luento- ja harjoitussalien välillä kuin ne olivat olleet toimistokiinteistöissä. Vastaukset molempiin kysymyksiin olivat myös huomattavasti positiivisempia luentosaleissa kuin toimistokiinteistöissä.

Luentosalien- ja harjoitussalien edustoilta saatiin kerättyä huomattavasti enemmän dataa kuin toimistokiinteistöistä. Valaistuskysymykseen vastasi kahden viikon keräysjaksolla yhteensä 3250 ihmistä ja ilman puhtaus -kysymykseen 1993 ihmistä. Vastaavat lukemat toimistokiinteistöissä olivat 1733 ja 1096 vaikka toimistokiinteistöjä oli enemmän. Lukemat johtuvat käyttäjämäärien eroista. Käytetty menetelmä toimii parhaiten hyvin suurelle määrälle vastauksia. Luento- ja harjoitussaleissa on myös erona se, että yksittäinen ihminen ei kulje samasta paikasta yhtä säännöllisesti kuin toimistokiinteistöistä, mikä ei luo tyytyväisten ihmisten vastaamattomuusvinoumaa.

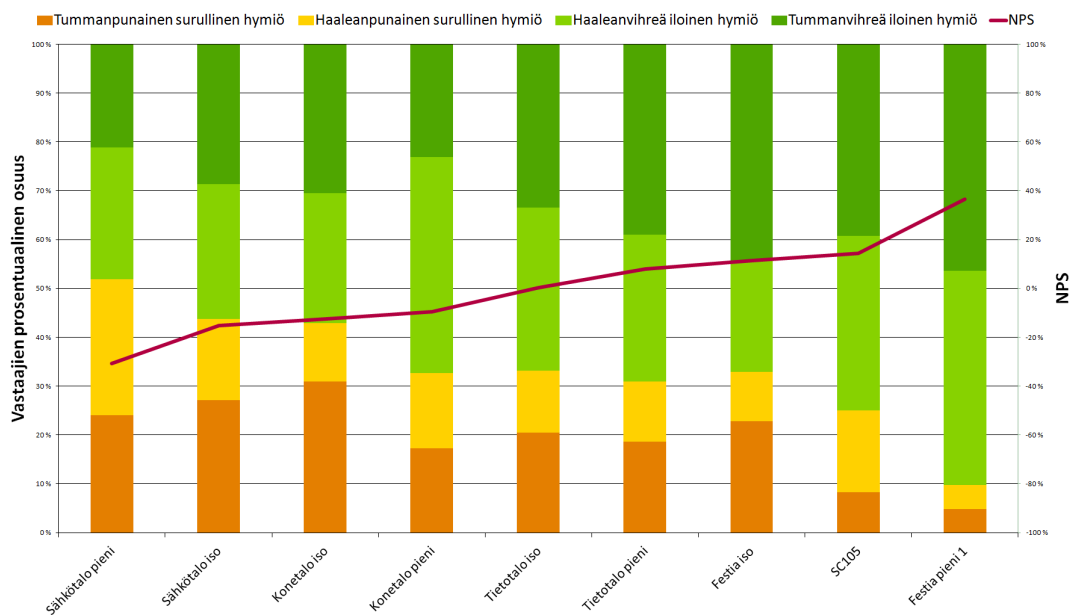
Vastauksista nähdään, että pienemmissä saleissa valaistusta pidettiin riittävämpänä. Kyselytutkimuksessa käyttäjät kertoivat valaistuksen tärkeimmäksi kriteerikseen, että valaistus riittää asiaan, jota paikassa on tarkoitus tehdä. Esimerkiksi sen, että tilassa näkee kirjoittaa. Pienemmässä ja matalammassa salissa tällaiset valaistusolosuhteet on helpompaa saavuttaa. Tärkeää valaistuksen riittävyyden arvioinnissa on nimenomaan työskentelypinnalle tuleva valo ja työskentelypinnan erottuminen. Seinien tummuus ei näytä vaikuttavan tuloksiin. Sähkötalon luentosalit ovat saleista kaikkein vaaleaseinäisimmät. Silti siellä valaistuksen taso on arvioitu huonoimmaksi. Esimerkiksi konetalon seinäpinnat ovat oranssit ja tummanharmaat, kuten kuvasta 4.9 nähdään.

Ilman puhtaus on arvioitu täysin eri tavalla kuin valaistus. Ilman puhtauden arviointiin on vaikuttanut rakennus. Rakennusten keskinäinen paremmuusjärjestys parhaista huonoimpaan on: Festia, Tietotalo, Konetalo ja Sähkötalo. Sähkötalon harjoitussali SC105 on erikoistapaus ja se pärjasi yhtä hyvin kuin Festian salit. Festia ja Tietotalo ovat selvästi uudempia rakennuksia kuin Sähkötalo ja Konetalo. Rakennus vaikuttaa erittäin voimakkaasti ilmanlaadun kokemiseen. Vastausten perusteella

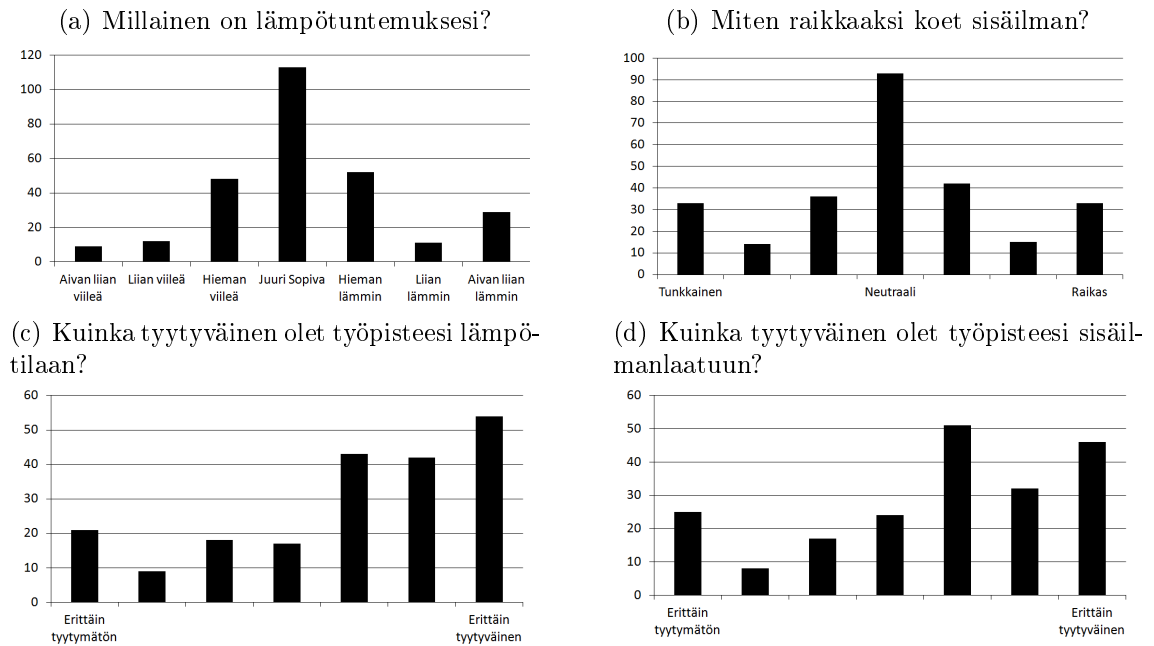
(a) Koetko valaistuksen riittäväksi



(b) kuinka puhtaaksi koet sisäilman?



Kuva 4.4: Tason 1 kyselyiden vastaukset TTY:n luentosaleissa pinottuina pylväinäluentosaleissa, pylvään pituus edustaa tietyn vastauksen prosentuaalista osuutta tietyssä paikassa. Kuvaajaan piirretty viiva edustaa laskettua NPS-arvoa. Tulokset on järjestetty NPS-arvon mukaisesti nousevaan järjestykseen.



Kuva 4.5: Arviot sisäilmaston laadusta ammattikorkeakoulussa ensimmäiseltä kyselykierrokselta. Kuvissa (a) ja (b) kysymyssarjan 1 vastaukset, kuvissa (c) ja (d) kysymyssarjan 2 vastaukset.

voidaan sanoa, että suurille ihmismäärille suoritettu yksinkertainen kysymys antaa kuvan sisäilmaston laadusta. Tässä tapauksessa kokemus oli helposti yhdistettävissä paikkaan ja uniikkeja vastauksia saatiin paljon. Toimistokiinteistöihin verrattuna kyselymenetelmä toimii oppimistiloissa huomattavasti paremmin.

4.2 Tason 2 kyselyjen vastausten analyysi

4.2.1 Ammattikorkeakoulu

Ammattikorkeakoulussa kyselypaketit 1 ja 2 kysyttiin kahteen kertaan seitsemässä paikassa. Lisäksi kysymyssarja 1 käytiin toiseen kertaan kolmessa aktiivisimmassa paikassa. Kuvassa 4.5 on esitetty kaikki ensimmäisen kyselykierroksen vastaukset. Vastausten jakautumista voidaan tehdä päätelmiä kysymyksillä saatavien jakaumien muodosta.

Kysymyspaketin 1 lämpöviihtyisyyden arvioinnissa käytetty kysymys 4.5a, jossa lämpötuntemusasteikon keskimmäisin vastausvaihtoehto on "juuri sopiva", keräsi silmämääräisesti lähes normaalijakautuneen vastauksien jakauman. Vaihtoehto "juuri sopiva" keräsi suurimman vastausmäärän ja mitä kylmempään tai kuumempaan mennään, sitä harvinaisemmaksi vastaukset käyvät. Kohtalaisen kapean jakauman tapauksessa keskiarvon laskeminen on mielekästä. Ääripäistä lämmin pää erottuu viileään päähän verrattuna. Tästä ei voi päätellä ilman olleen liian lämmintä. Korostuneeseen ilmaa liian lämpimänä pitämiseen on voinut vaikuttaa paikalliset

olosuhteet ja yksilölliset tekijät, esimerkiksi aktiivisuustaso tai vaatetuksen määrä.

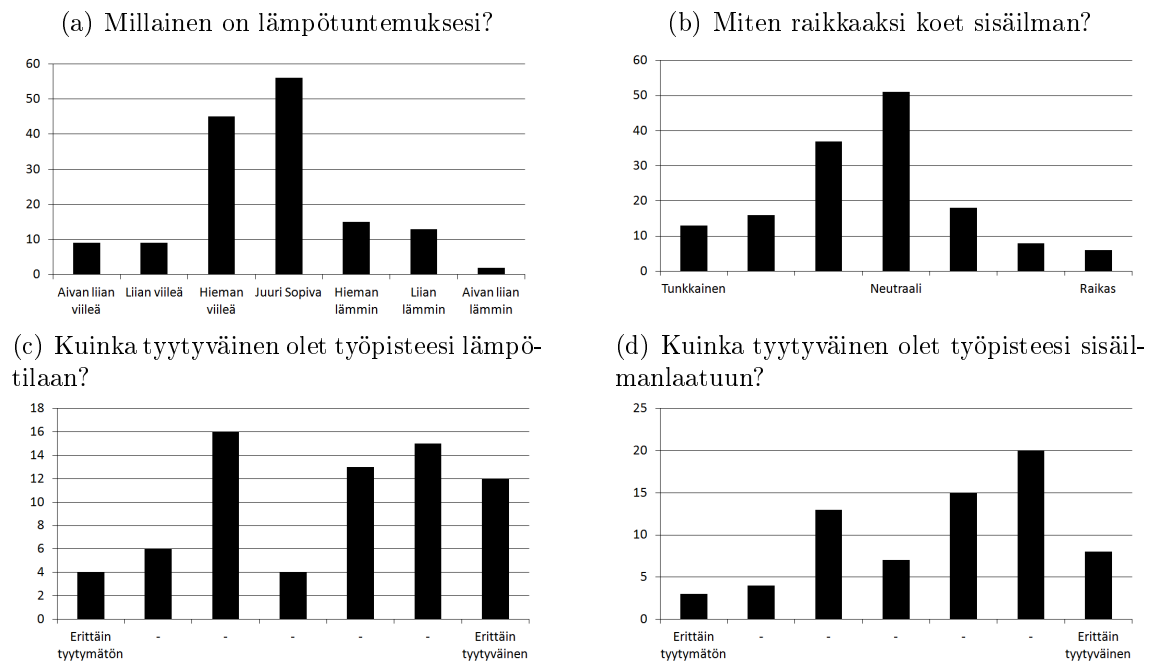
Kysymyspaketin 1 ilmanlaatua arvioiva kysymys 4.5b perustui semanttiseen eroteluun ja kyselyn vastaukset painottuivat keskelle sekä hieman asteikon ääripäihin. Kyselyssä ei ollut havaittavissa ilmiötä, että ihmiset arkailisivat ääripäiden vastauksista. Nimettyjen kategorioiden ulkopuolelle vastattiin alle puolet verrattuna lähimpään nimettyyn kategoriaan. Tämän kysymyksen analysoinnissa ei ole järkevää laskea keskiarvoja ääripäiden tuloksia vääristävän ominaisuuden vuoksi. Moodin laskeminen antaa paremman kuvan. Moodi on kuitenkin lähes aina neutraali, ellei kyseessä ole erityisen huono tai hyvä rakennus. Parhaan kuvan tiedosta antaa ääripäiden suhde neutraaliin ja keskenään. Saatu kyselyn muoto vastaa tilannetta, jossa useimmissa kohteissa ihmiset vastaavat neutraalin vaihtoehdon mukaan ja erityisen hyvissä tai huonoissa tiloissa ääripäitä. Tällaista ilmiötä ei havaittu yksittäisten mittauspisteiden kohdalla, vaan vastausten muoto noudattaa yksittäisissä pisteissä vastausten yleistä jakaumaa. Poistumisaulaan sijoitettu kyselylaite keskiarvoistaa koko käyttäjämässän vastauksia. Koska ihmiset vastaavat omien kokemustensa mukaan, on mahdollista että rakennuksessa on ollut eritasoisia tiloja. Jotta kyselyllä olisi voinut paikallistaa ongelmia rakennuksen sisältä, kyselyä olisi täytynyt järjestää paikallisemmin.

Toisen kysymyspaketin vastauksista on vaikea tehdä päätelmiä sisäilmastosta. Kyseessä on mielipidejakauma, eikä siitä täten voi tehdä sisäilmastoon liittyviä päätelmiä. Myös tyytyväisyyden jakauma antaa turhaa informaatiota sillä yleensä ollaan kiinnostuneita tyytyväisten osuudesta, joka voidaan selvittää myös yksinkertaisemmalla keinolla. Kokemusten hakeminen tästä kysymyspaketista on tärkeää sillä kysymyssarja on käytössä sellaisenaan kiinteistöjen elinkaarimittarien sertifioinnissa. Kysymyspaketin 2 suurin etu liittyy vertailukelpoisuuden säilyttämiseen eri kysymysten välillä. Tyytymättömien osuus saadaan rakennusten elinkaarimittarien[7] mukaan laskemalla yhteen kategoriat neutraalin tyytymättömällä puolella. Tämän kyselyn perusteella kiinteistöjen elinkaarimittareiden tavoitetaso (alle 25 % tyytymättömiä) alittaminen laskentatapaa käyttämällä on vaikea saavuttaa.

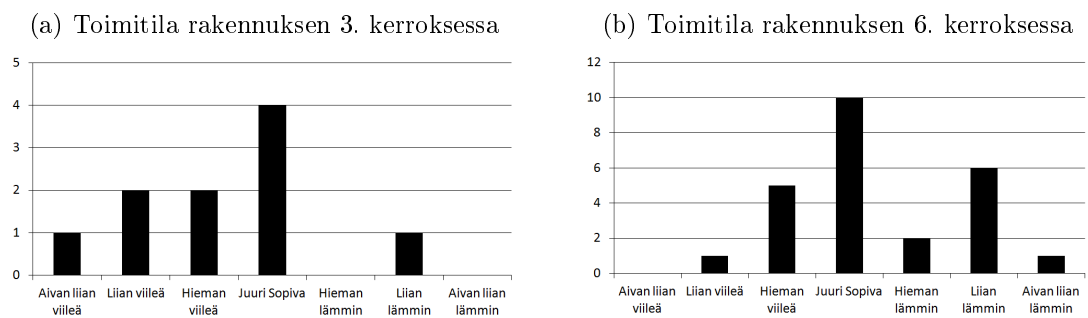
4.2.2 Toimistorakennus

Tutkittu kiinteistö oli iso toimistorakennus, jossa yksittäisten mittauspisteiden vastausmäärät jäivät paikoin hyvin pieniksi. Ammattikorkeakouluun verrattuna kiinteistöstä saatiin huomattavasti paikallisempaa palautetta. Kysymyssarjaa 1 testattiin lokakuussa ja kysymyssarjaa 2 tammi-helmikuussa. Poikkeuksena oli eräs toimitalo, jossa oltiin suoritettu toimenpiteitä ilmanlaadun parantamiseksi ja jossa suoritettiin kysymyspaketin 1 mukainen kysely toiseen kertaan. Toimitilassa oli kärsitty huonoista olosuhteista ja uusi kysely tehtiin heti olosuhteiden parantamisen jälkeen.

Kyselyiden yhdistetyt tulokset kysymyksittäin on kuvassa 4.6. Yleisesti Kysymys-



Kuva 4.6: Arviot sisäilmaston laadusta toimistokiinteistöissä ensimmäiseltä kyselykierrokselta. Kuvissa (a) ja (b) kysymyssarjan 1 vastaukset, kuvissa (c) ja (d) kysymyssarjan 2 vastaukset.



Kuva 4.7: Erään yrityksen toimitilojen vastauksia

sarja 1 antoi hyvin keskelle jakautuneita vastauksia. Keskiarvon laskeminen näistä kysymyksistä on mielekästä. Toimistoissa otoskoot ovat olleet pienemmät ja paikakokoisesti on suuriakin eroavaisuuksia sekä termisissä olosuhteissa että sisäilman laadussa.

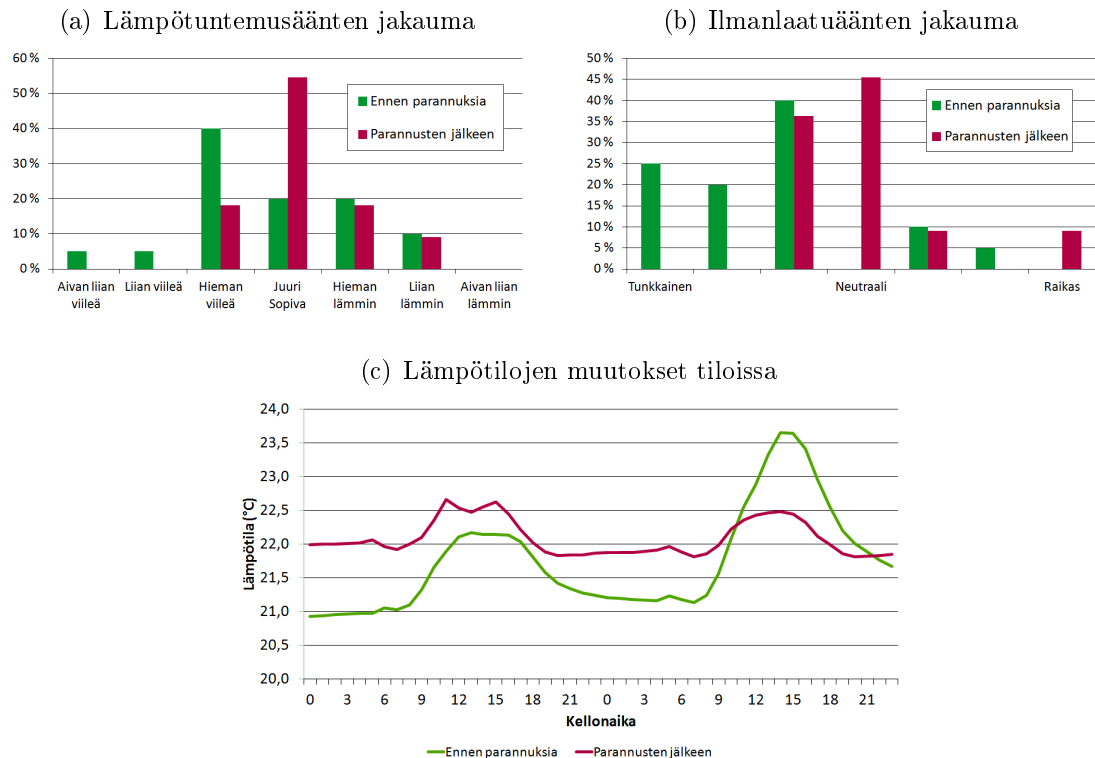
Kuvassa 4.7 on vastaukset saman yrityksen toimitiloista kahdessa eri kerroksessa. Kyselyn tulosten perusteella kuudennenkerroksen toimitilat olivat selkeästi kolmannen kerroksen tiloja lämpimämpiä. Kolmannessa kerroksessa oli mittausten mukaan noin 22,5-23 °C lämpötila, kuudennessa kerroksessa vain hieman lämpimämpi. Lämpötilamittaukset eivät anna olettaa viileää lämpöaistimusta, mutta kyselyn tulokset osoittavat toisessa toimistossa ihmisten kokeneen huomattavasti viileämpää.

Rakennuksen korkeassa aulassa sisälämpötila oli matala, noin 17 °C. Sisälämpötiloissa ei rakennusautomaatiojärjestelmän mittausten mukaan ollut suuria eroavaisuuksia eri tilojen kesken. Kolmannen kerroksen tilat olivat hieman muita viileämpiä. Mittausten perusteella sisäolosuhteet olivat hyvät lämpötilat pääsääntöisesti 22-23 °C, joissain tiloissa mentiin hieman yli tai ali tämän arvon. Ihmisen lämpötilatuntemukseen vaikuttaa säteily- ja konvektiolämmönsiirron vaikutukset, mitä kuvaa operatiivinen lämpötila. Viileällä kelillä operatiivinen lämpötila voi alentua helposti esimerkiksi ikkunoiden läheisyyden vaikutuksesta. Rakennusten lämpötilan säätämisen ongelma on, että säätö perustuu vain sisäilman lämpötilan mittaamiseen ilman säteilylämpötilojen vaikutusta. Jos rakennuksen massan keskiosissa ja ulkoseinien lähellä olevissa tiloissa ylläpidetään teknisesti samaa lämpötilaa, kokevat kylmien ulkoseinien läheisyydessä oleskelevat ihmiset viileämpää viileän säteilyn vaikutuksesta. Kesällä ilmiö voi olla päinvastainen.

Kyselyissä kiinteistössä löydettiin myös näyttöä sisäilman olosuhteiden muuttamisen ja subjektiivisen arvion muuttumisen yhteydestä tosielämän tilanteessa. Toimistotilassa oli havaittu tyytymättömyyttä sisäilmastoon. Toimistossa suoritettiin kysymyspaketin 1 mukainen kysely kahteen kertaan. Toinen kyselykierros tehtiin sisäilmaston laatua parantaneiden toimenpiteiden jälkeen. Parantavia toimenpiteitä oli ilmamäärien tarkistusmittaus sekä lämpötilojen pienehkö nostaminen. Kyselyiden vastaukset ja kyselyajankohtia vastaavien päivien keskilämpötilat laskettuna viidestä lämpötila-anturista on esitetty kuvassa 4.8.

Lämpötilan nostamisella on ollut vaikutusta ihmisten vastauskäyttäytymiseen. Ennen parannustoimenpiteitä suosituin vastauskategoria on ollut hieman viileä. Tämän perusteella lämpötiloja on nostettu. Järjestetyssä uusintakyselyssä ihmiset ovat arvioineet lämpötuntemuksensa lämpimämmäksi. Suosituin kategoria on tällä kertaa juuri sopiva ja vastaukset jakautuneet molemmin puolin keskikohtaa tasaisesti. Tämän enempää lämpötilalle ei voida tehdä.

Vaikka ilmamääriä ei ole muutettu, ihmiset ovat arvioineet ilman raikkaammaksi. Tulokseen on syytä kuitenkin kriittisesti sillä ihmiset antoivat vapaata palautetta



Kuva 4.8: Sisäilmastokyselyn kyselyiden tuloksia ja vastaavien päivien keskilämpötilat samassa toimistossa ennen ja jälkeen sisäilmastoon tehtyjä parannuksia

kyselyissä ja mainitsivat että tiloissa on silloin tällöin viemärinhajua ja että kesällä ilma on ollut yhtä huono. Vapaan palautteen ansiosta tässä tapauksessa osataan etsiä tunkkaiseen ilmaan syitä muualta, kuin varsinaisesti ilman tilavuusvirroista. Tämä osoittaa myös vapaan palautteen antamisen mahdollisuuden lähes välttämättömäksi korjauksia helpottavaksi työkaluksi. Jos palautteen antaminen tehdään helpoksi, on oikeat toimenpiteet helppo löytää.

4.3 Luentosalikoe

4.3.1 Mittaus- ja kyselyjärjestelyt

Tyytyväisyyskyselyn luentosalimitaus tehtiin painonappilaitteiston kvalitatiivista testiä varten sekä luentosalin ilmanjaon toimivuuden analysoimiseksi. Ilmanlaadun arveltiin jakautuvan epätasaisesti luentosalin pituussuunnassa, joten luentosali jaettiin pituussuunnassa kolmeen vyöhykkeeseen: Punainen, vihreä ja sininen. Punainen vyöhyke sijaitsi salin etuosassa ja sininen takaosassa Luentosalista mitattiin lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta oleskeluvyöhykkeellä. Poistoilmaventtiilien lähellä mitattiin lämpötilaa ja kosteutta. Anturien sijainnit ja vyöhykkeiden jaottelu on esitetty kuvassa 4.10. Keskellä vihreää aluetta sijainnut anturi varastettiin ennen

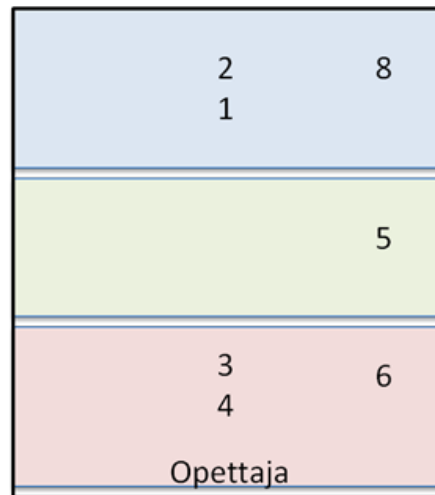


Kuva 4.9: Mittaukset Tampereen teknillisen yliopiston luentosalissa K1704. Ensimmäisen penkkirivistön alla on näkyvissä osa olosuhdemittauslaitteistosta. Luentosalin molemmiin puolin portaissa oli yhteensä 6 värikoodattua vastauslaitetta, joiden avulla opiskelijat saatiin vastaamaan istumasijaintinsa mukaisesti.

mittausta, eikä siitä saatu tuloksia. Anturit 1, 4, 5, 6, 8 sijaitsivat lähellä lattian pintaa ja anturit 2 ja 3 henkilön hartioiden korkeudella.

Mittaukset järjestettiin kahtena peräkkäisenä aamupäivänä samalla matematiikan luonnolla 8-9.4.2013 Kuvan 4.9 luentosalissa. Sisäilman laatua huononnettiin tarkoituksella toista kyselypäivää varten. Ensimmäisenä päivänä olosuhteet pidettiin normaalitilassa ja seuraavana päivänä ilmanvaihto säädettiin puoliteholle. Opiskelijat antoivat palautetta molempina päivinä, olosuhdekyselylomakkeilla, jossa oli luennon alussa sekä luennon lopussa täytettävät identtiset osiot. Kyselylomake on esitetty liitteessä 1. Poistumisväylillä oli lisäksi tason 1 palautteenantojärjestelmä, jossa kysyttiin kysymys: Miten viihtyisäksi koet sisäilman olosuhteet? Kysymyksellä haettiin kokonaiskuvaa sisäolosuhteiden viihtyisyydestä.

Kyselylomakkeella oli seuraavat kysymykset: Lämpötuntemus ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla, lämpötilan hyväksyttävyys visuaalisanalogisella asteikolla, lämpötilan muutoshalukkuus McIntyre-asteikolla, Semanttinen erottelu väliltä raikas-tunkkainen, ilmanlaadun hyväksyttävyys visuaalisanalogisella asteikolla, kyllä/ei luokittelu ilman liikkeestä ympärillä sekä ilman liikkeen hyväksyttävyyden visuaalisanaloginen asteikko. Kaikki vastaukset on mahdollista jäljittää vyöhykke-



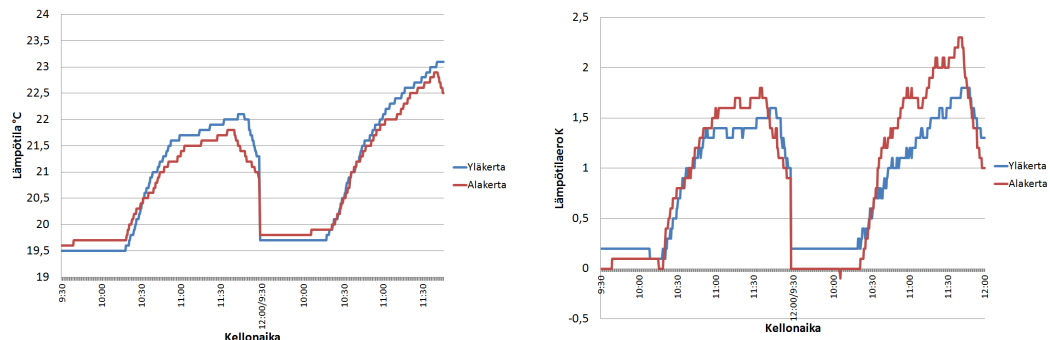
Kuva 4.10: Olosuhdeantureiden sijoittelu luentosalissa mittausten aikana. Anturit 1 ja 2 viimeisen rivistön keskellä siten, että anturi 1 sijaitsi lattiaanrajassa ja anturi 2 metrin korkeudella. Anturit 3 ja 4 oli sijoitettu samaan tapaan ensimmäiselle penkkirivistölle. Anturit 8, 5 ja 6 sijaitsivat penkkirivien päädyissä lattiaanrajassa. Luentosali oli jaettu värikoodattuihin vastausalueisiin kuvan mukaisesti

seen(yläosa, keskiosa ja alaosa), jolla henkilö on istunut. Tämä tehtiin jakamalla värikoodattuja liitteen 1 mukaisia lomakkeita sekä värikoodatut painikepalautteenantolaitteistot.

Kuvassa 4.12 on esitetty luentosalin hiilidioksidipitoisuuksien kehittyminen mitauspäivinä. Ensimmäisenä päivänä normaalilla ilmanvaihdolla salin yläosan hiilidioksidipitoisuus asettui tasolle 900 – 1000 *ppm*. Salin muiden osien hiilidioksidipitoisuus asettui tasolle 700 – 800 *ppm*. Ilman laatu kyselyiden ensimmäisenä päivänä oli hiilidioksidipitoisuudella mitattuna hyvä, ottaen huomioon tilan suuren kuormituksen. Salin ilmanjako on kuitenkin puutteellisesti suunniteltu. Saliin on suunniteltu ilmanvaihto syrjäyttävällä ilmanjaolla, mutta suuresta ilmamäärän tarpeesta johtuen salin sivuilla sijaitseviin tuloilmalaitteisiin syötetään liian paljon ilmaa. Tämä johtaa liian suureen ilman tulonopeuteen ja sekoittavaan ilmanvaihtoon. Tämä todennettiin savukokeilla.

Toisena päivänä ilastointikoneen taajuusmuuttaja säädettiin 80 % pienemmälle nopeudelle ja hiilidioksidipitoisuus kohosi merkittävästi eikä saavuttanut tasapainotilaa luennon loppuun mennessä. Hiilidioksidipitoisuus oli taas suurin salin yläosassa saavuttaen luennon loppuun mennessä pitoisuuden 1800 – 2000 *ppm*. Salin yläosa saavutti toisena päivänä yhtä suuren hiilidioksidipitoisuuden kymmenessä minuutissa, kuin ensimmäisenä päivänä maksimissaan. Toisena päivänä mittauspisteillä oli enemmän pitoisuushajontaa. Hiilidioksidipitoisuus oli alhaisin luentosalin reunoilla. Hiilidioksidipitoisuuden vaihteluväli salin keski- ja alaosassa oli 1200 – 1650 *ppm*. Salin alaosan reunalla hiilidioksidipitoisuus oli noin 500 *ppm* alhaisempi kun salin

(a) Luentosalin mitatut lämpötilat luentojen aikana. (b) Luentosalin lattiantason ja oleskeluvyöhykkeen lämpötilaerojen kehittyminen



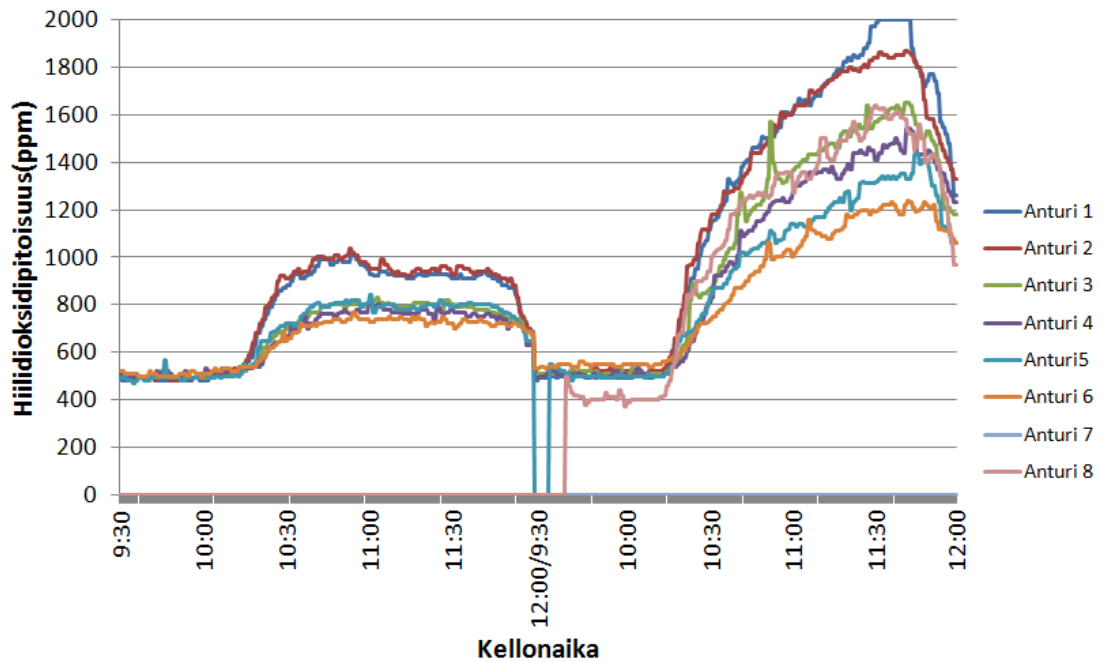
Kuva 4.11: Kuvaajissa on molempien päivien luentojen lämpötilojen kehittyminen. Kuvaajista näkyy 1,5 tuntia kestävien luentojen salin täyttymisen alkamisen ajankohta. Aika asteikolla on epäjatkuvuuskohta, jonka tarkoituksena on saada molempien päivien arvojen kehittyminen vertailukelpoiseksi

Taulukko 4.1: Vastausmäärät lomakevastauksista luentosalissa. Suluissa vastausmäärät painonappilaitteistolta

Luentosalin osa	Ensimmäinen mittauspäivä	Toinen mittauspäivä
Yläosa	24 (37)	17 (28)
Keskiosa	22 (30)	28 (36)
Alaosa	43(45)	27(31)

alaosan keskellä

Salin yläosan lämpötila hartiankorkeudella ei ollut kumpanakaan mittauspäivänä merkittävästi korkeampi kuin salin alaosassa, kuten voidaan todeta kuvasta 4.11. Samassa kuvassa on esitetty myös luentosalin lämpötilojen kehittyminen mittauspäivinä. Pystysuuntaiset lämpötilaerot jalkatason ja hartiankorkeuden välillä olivat ylä- ja alakerrassa kutakuinkin samansuuruksia molempina päivinä. Ensimmäisenä mittauspäivänä lämpötila nousi lämpötilasta 19,5°C:sta noin 22°C:een. Toisena mittauspäivänä lämpötila nousi noin 20°C:sta 23°C:een. Luentosalissa on paljon ihmisiä, eikä kylmiä pintoja, joten operatiivinen lämpötila on huomattavasti huoneilman lämpötilaa korkeampi. Operatiivista lämpötilaa ei arvioitu tai mitattu kokeiden yhteydessä. Lämpötilaerot jalkatason ja hartiankorkeuden välillä olivat ylä- ja alakerrassa kutakuinkin samansuuruksia molempina päivinä.



Kuva 4.12: Luentosalin mitatut hiilidioksidipitoisuudet luentojen aikana. Kuvaaajassa on molempien päivien luentojen kuvaajat peräkkäin. Kuvaaajasta näkyy 1,5 tuntia kestävien luentojen salin täyttymisen alkamisen ajankohta

4.3.2 Kyselyvastausten analysointi

Vastauslomakkeita täytettiin kahtena päivänä yhteensä 173, joista osa oli osin tai täysin tyhjiä tai selvästi epärehellisesti vastattuina¹. Taulukossa 4.1 on esitetty hyväksytyjen lomakevastausten ja painonappivastausten määrät. Painonappivastauksia saatiin enemmän. Tämä voi johtua tuplavastauksista tai lomakkeen vaikeudesta tai kiinnostamattomuudesta. Toisena mittauspäivänä vastauksia saatiin selkeästi vähemmän, vaikka luentosalin ihmismäärä oli suurin piirtein sama. Tämä havainto on linjassa havaitun vastausmäärien vähentymisen ajan kuluessa kanssa.

Eri menetelmien antamia tyytymättömyyden osuuksia verrataan sekä keskenään että olosuhteiden muuttumiseen. Lämpöviihtyisyydelle tutkimisessa menetelmät ovat vastausten keskiarvoista laskettu Fangerin PPD-indeksi (PPD), ASHRAE-häntäosuudet (ASHRAE), lämpöolojen hyväksyttävyysskysymyksen ei-hyväksyttävälle puolelle osuneet vastaukset (APD) ja ihmiset, jotka haluaisivat lämpötilaan muutosta. Alkuluennon vastauksia verrataan molempina päivinä loppuluennon vastauksiin.

Ilman laadun suhteen vertaillaan Ilmaa tunkkaisena sekä ilmaa hyväksyttävänä

¹Epärehelliseksi vastauksiksi tulkittiin lomakkeet jotka näyttivät järjestelmällisesti tarkoituksella epäloogisesti vastatulta, esimerkiksi seuraava lomake: Kuuma - täysin hyväksyttävä; Raikas - täysin ei hyväksyttävä; Vetoa-Täysin hyväksyttävä

Taulukko 4.2: ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla annettujen arvioiden keskiarvot molempina päivinä luentosalin eri osissa

Luentosalin osa	Ensimmäinen mittauspäivä	Toinen mittauspäivä
Yläosa	0,41	0,56
Keskiosa	-0,65	0,69
Alaosa	-0,14	0,5

pitävien osuuksia. Painonappivastauksia verrataan molempien kysymysten vastauksiin. Eri luentosalin sektoreille, luennon osille sekä luentopäiville suoritetaan myös yksisuuntainen ANOVA-testi.

4.3.3 Tyytyväisyys termiseen ympäristöön

Olosuhdekyselyiden tulokset on esitetty kuvassa 4.13. Teknisessä mielessä luentosalin lämpötilat eivät nouse kumpanakaan päivänä kovin korkealle, mikä voidaan todeta kuvasta 4.11. Tyytyväisyyden referenssitasona voidaan pitää sisäilman hyväksyttävyyškysymystä, sillä se on ainoa, jossa viihtyisyyttä kysytään suoraan. Tässä viihtyisyys ja hyväksyttävyys tulkitaan samaksi asiaksi, vaikka tosiasiasa ihminen voi pitää epäviihtyisää sisäilmaa hyväksyttävänä odotuksistansa riippuen.

Opiskelijoiden lämpötuntemuksia tutkittiin ASHRAE-asteikkoa käyttäen. Lämpötuntemusäänten keskiarvot olivat taulukon 4.2 mukaisia. Lämpötuntemus on ollut selvästi lämpimämpi jokaisessa osassa toisena mittauspäivänä. Vähiten tuntemus on muuttunut salin yläosissa ja eniten keskiosassa. Keskiosassa ensimmäisenä päivänä keskiosaan kohdistuneen tuloilmasuihkun viilentävä vaikutus näkyi selvästi. Ilmanvaihto ei ole kyennyt viilentämään salin yläosan lämpötiloja edes ensimmäisenä päivänä. Selitys ei kuitenkaan löydy suoraan lämpötiloista, jotka eivät olleet salin ylimmällä rivillä merkittävästi alakertaa suurempia.

Keskiosassa saavutettiin molempina päivänä yhtä suuri tyytymättömyys. Epäviihtyisyyden aiheuttaja oli kuitenkin ensimmäisenä päivänä viileä ja toisena päivänä lämmin ilma. Lämpötilan muutoshalukkuus liian viileässä oli suurempi kuin muutoshalukkuus lämpimässä. Tämä kertoo ihmisen taipumuksesta hyväksyä liian lämpimät olosuhteet ja viileässä ihminen kokee enemmän halua muuttaa ympäristöään.

AMV-PPD indeksi on aikoinaan kehitetty laskemalla ASHRAE-häntäosuus. Kuvan 4.13 tuloksista kuitenkin huomataan, että PPD-indeksi ja ASHRAE-häntäosuudet eivät vastaa toisiaan kovinkaan hyvin.

Salin geometriasta johtuen alempana istuvilla ihmisillä on suurempi näkyvyyskerroin salin viileämpiin etuseiniin, jotka laskevat operatiivista lämpötilaa salin alaosassa. Yläosassa on myös ollut suurempi ihmistiheys kuin alakerrassa, mikä osaltaan

nostaa yläosan operatiivista lämpötilaa. Syy salin keskiosan opiskelijoiden viileälle lämpötuntemukselle ensimmäisenä päivänä ja lämpötuntemuksen suureen nousuun löytyy salin ilmanjaosta. Ilmanvaihdon ollessa päällä tuloilmasuihku osui ensimmäisenä päivänä juuri salin keskiosissa istuneisiin henkilöihin.

Tyytyväisyys lämpötiloihin salin yläosassa oli yllättävän korkealla tasolla. ASHRAE-häntäosuuksista lasketut tyytyväisyydet näyttävät yliarvioivan tyytymättömyyden tason. AMV-PPD indeksi puolestaan ei näytä reagoivan varsinaisen tyytymättömyyden kasvuun suurissa määrissä. Muutoshalukkuuden absoluuttiset arvot ovat korkealla. Ihmiset voivat helposti äänestää muutoksen puolesta vaikka olisivatkin tyytyväisiä ilman lämpötilaan. Muutoshalukkuus ei varsinaisesti näytä vastaavan muita tapoja tyytymättömyyden määrittämiseksi, mutta se vastaa jokseenkin lämpötuntemuksia.

AMV-PPD indeksin, ASHRAE-häntäosuuksista lasketut tyytymättömyyden osuudet tai painonappivastaukset eivät ole herkkiä olosuhteiden muutoksille. Suurin muutos tyytymättömyydessä tapahtuu salin etuosissa, toisaalta salin yläosan muutoshalukkuus kasvaa eniten, kuitenkin siten että salin yläosan ihmiset pysyvät tyytyväisinä lämpötilaan. Yläosan ihmiset tuntevat selvästi lämpimämpää toisena päivänä, mutta hyväksyvät sen paremmin. Tämä viittaa salin yläosan ihmisten oletettavan huonompaa ilmaa ja siten myös sietävän sitä paremmin.

Tuloksista voidaan huomata, ettei mikään epäsuora menetelmä näytä antavan luotettavia tuloksia pienissä populaatioissa ja tyytymättömyyttä on parempi arvioida AMV-PPD indeksin sijaan kysymällä suoraan tyytymättömyydestä tai liittämällä tyytyväisyys lämpötuntemuskysymyksen yhteyteen. Tämä ei ole uusi havainto.

4.3.4 Tyytyväisyys ilman laatuun

Kuvassa 4.14 on koottu eri menetelmillä laskettuja ilmanlaatuun tyytymättömien osuuksia. Luvut on laskettu luennon päättyessä annetuista äänistä. Tyytymättömien osuus on saatu vastauksena kysymykseen kuinka hyväksyttävänä ihminen pitää ilmanlaatua. Tätä vastausta voidaan pitää tarkimpana arviona tyytymättömien osuudesta. Tunkkaisuus raikkaus asteikolta verrataan niiden ihmisten osuutta, jotka ovat vastanneet asteikon keskikohdan tunkkaiselle puolelle. Vertailuun otettiin myös vastaukset jossa laskettiin tyytymättömien osuuteen selvästi tunkkaisen puolelle vastanneet ihmiset. Iso osa ihmisistä vastasi vain varovaisesti tunkkaisen puolelle. Vertailussa on lämpöviihtyisyyskysymyksen tapaan myös punaisia painonapeilla vastanneet.

Molempina päivinä ilma koettiin tunkkaisemmaksi luennon lopussa, kuin alussa. Alkuluennon arvioinnissa ei havaittu suuria eroja eri osien kesken. Alkuluennot alaosassa ilma arvioitiin kuitenkin lähtökohtaisesti raikkaammaksi, kuin keskiosassa ja yläosassa. Tunkkaisen puolelle vastaaminen ei ennusta kovinkaan

tarkasti varsinaista tyytymättömyyttä ilmanlaatuun. Tunkkaisen puolelle äänestäneiden osuus yliarvioi tyytymättömyyden. Kun sisäilman tunkkaisen puolelle arvioineista lasketaan sisäilman selkeästi tunkkaisen puolelle arvioineet ihmiset, päästään lähemmäs varsinaista tyytymättömyyden osuutta. Kuitenkaan vastaukset tunkkaisuus-asteikolla eivät vastanneet tyytymättömien osuutta. Tunkkaisuus-raikkaus -kysymyksen vastaukset antaisivat paremman kuvan jakaumaksi koottuna.

Painonapeilla annetut vastaukset vastasivat todella hyvin selvästi tunkkaisen puolelle vastanneiden ihmisten vastauksia. Tämä kertoo myös sen, että suuri osa tunkkaisen puolelle ilman arvioineista ihmisistä suuri osa on arvioinut sisäilmaston vihreällä painonapilla.

Tunkkaisuuden tunne on muuttunut luentojen välillä selkeästi. Eniten ilma on muuttunut tunkkaisemmaksi keski- ja yläosassa. Keskiosassa selkeästi tunkkaisen puolelle ilman arvioineiden määrä on kasvanut huomattavasti. Alaosassa ei ole tapahtunut muutoksia ja ilma on koettu jopa raikkaammaksi toisena luentopäivänä. Tyytymättömien osuudet muuttuivat luentopäivinä siten, että alaosassa tyytymättömyyden taso väheni, keskiosassa kasvoi hieman ja yläosassa kasvoi hyvin merkittävästi, yli 20 prosenttiyksikköä.

4.3.5 Eri tekijöiden merkitys vastauksiin

Luennon alku- ja loppuosien, istumasijainnin sekä luentopäivien vaikutuksia verrataan vastauksiin eri kysymysten suhteen. Näin selvitetään, mitkä tekijät vaikuttavat mihinkin vastauksiin. Selvityksessä käytetään yksisuuntaista ANOVA-menetelmää. Anova tarkastelee usean otoksen variansseja ja tarkastelee tilastollisesti, onko otokset otettu samasta todennäköisyysjakaumasta. Mikäli todennäköisyysjakauma ei ole sama, voidaan päätellä otosten välillä olevan eroa ja näin ollen olettaa, että muutoksella on ollut vaikutusta vastauksiin. Analyysissä pieni p-arvo kertoo muutoksella olleen vaikutusta vastauksiin. Luetettavimman analyysin saa lämpötuntemukseen liittyvästä kysymyksestä sillä Anova olettaa vastausten olevan normaalijakautuneita ja lämpötuntemuskysymyksen vastaukset ovat normaalijakautuneimpia. Anova toimii kuitenkin kohtalaisesti myös muille jakaumille [27].

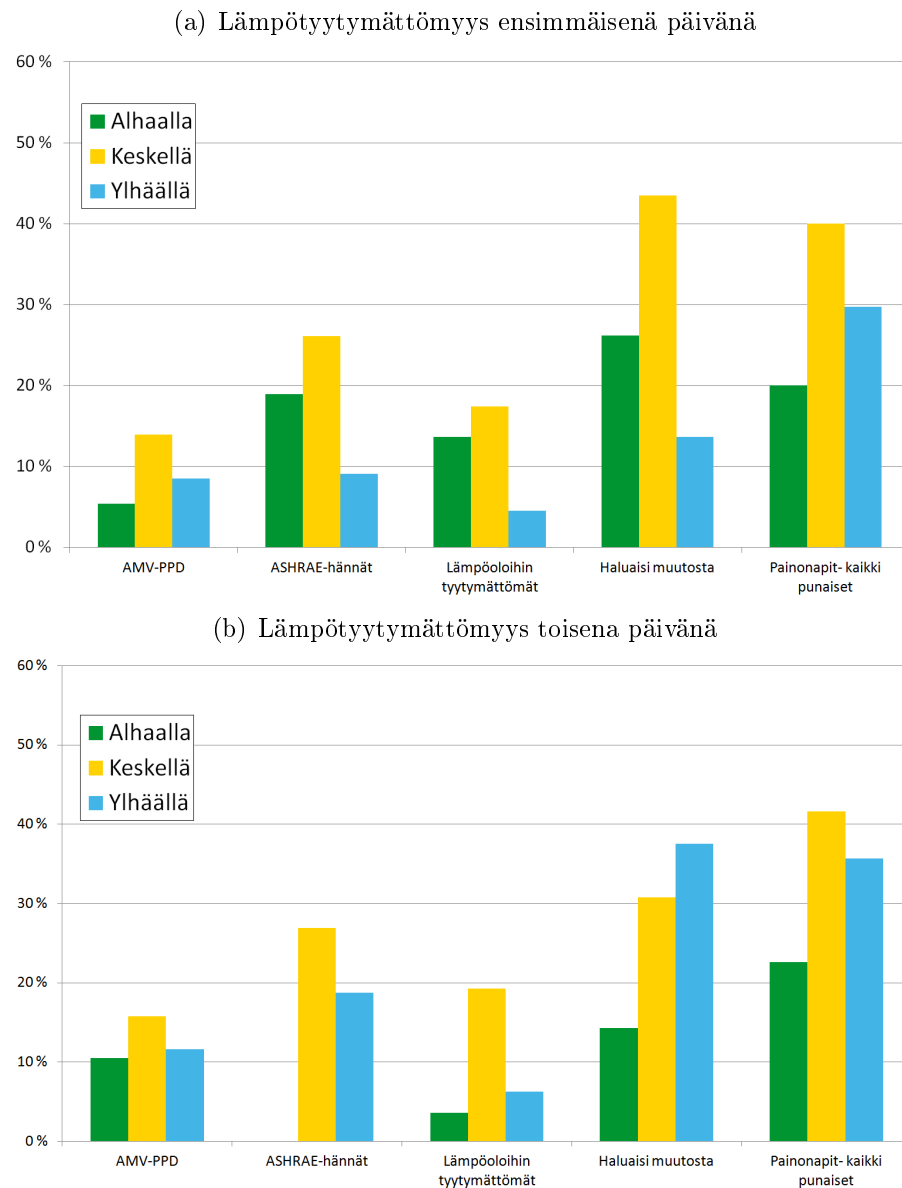
Taulukoidaan Anova-tarkastelun tulokset luentosalimittauksesta taulukkoon 4.3. Sarakkeisiin on jaoteltu tarkasteltavat kysymykset. Riveillä on lueteltu tekijöitä, joiden vaikutuksia tarkastellaan. Jos esimerkiksi halutaan tarkastella, että onko ensimmäisellä luennolla eri istumasektoreilla vastattu lämpötilan hyväksyttävyysskysymykseen samalla tavalla? Katsotaan taulukosta p-arvon kyseisellä kohdalla olevan pienempi kuin 0,01, mikä tarkoittaa, että eri istumasektoreilla vastaukset eivät ole samasta jakaumasta, mikä tarkoittaa istumasektorin vaikuttaneen kyseisen kysymyksen vastauksiin.

Suurin osa p-arvoista on hyvin pieniä eli vain harvoissa tapauksissa vastausten

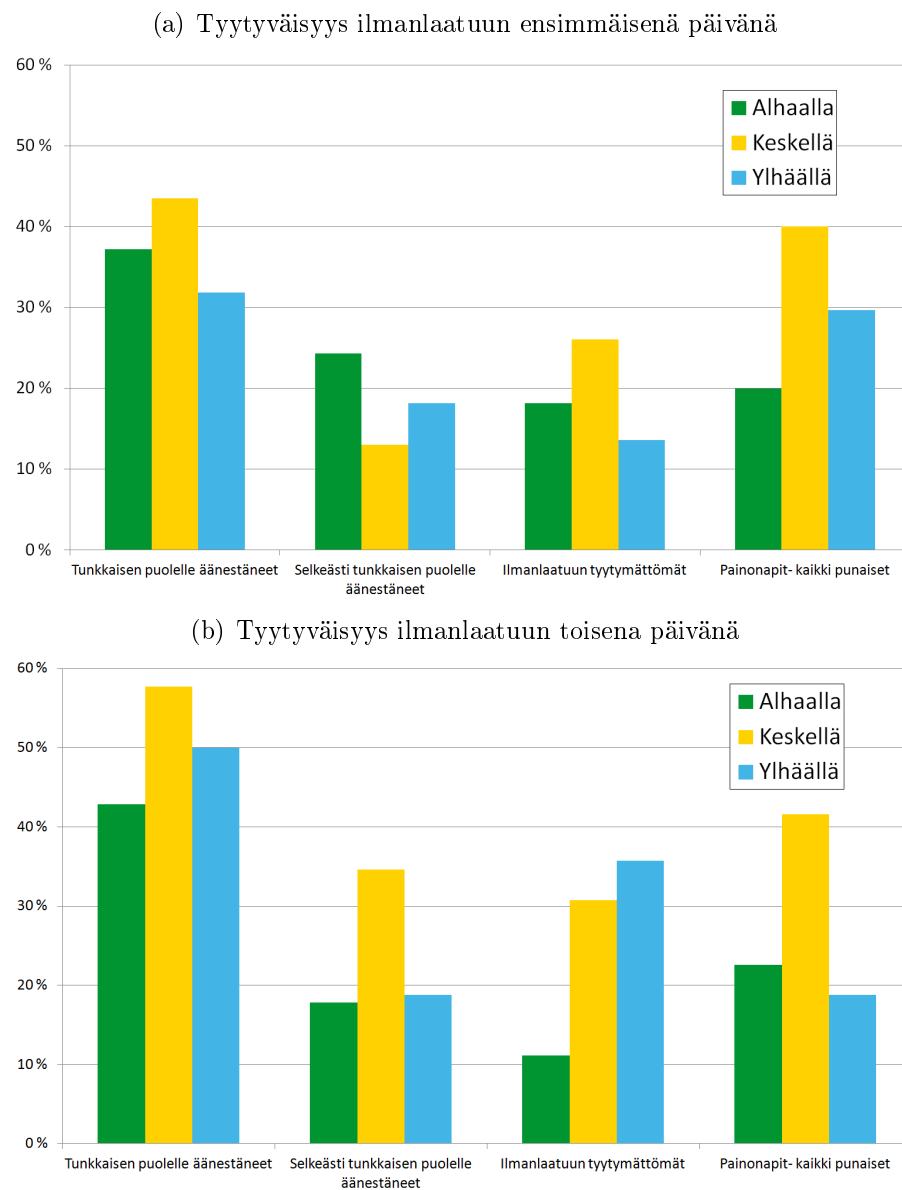
Taulukko 4.3: ANOVA tarkastelun p-arvot

Muuttuva tekijä	Kysymys			
	Lämpötunte- mus	Lämpötilan hyväksymi- nen	Ilman raik- kaus	Ilman hyväk- syttävyys
Luentojen ero	$p < 0,01$	$p = 0,88$	$p = 0,042$	$p = 0,09$
1. Luennon alku- ja loppuosa	$p = 0,79$	$p = 0,34$	$p = 0,01$	$p = 0,02$
2. Luennon alku- ja loppuosa	$p = 0,04$	$p = 0,02$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
1. Luennon eri sektorit	$p < 0,01$	$p = 0,03$	$p = 0,56$	$p < 0,01$
2. Luennon eri sektorit	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p = 0,25$	$p = 0,40$

jakauma on pysynyt muuttumattomana. Lämpötuntemus näyttää pysyneen samana ensimmäisen luennon, mutta muuttuneen esimerkiksi luentojen välillä on suuret erot. Myös lämpötilan hyväksyttävyys on pysynyt jokseenkin samanlaisena ensimmäisen luennon, mutta luentojen välillä ei huomata tämän kysymyksen suhteen olevan suurta eroa. Mielenkiintoisin huomio on, että istumasektori ei näytä vaikuttavan vahvasti ilman raikkauden kokemiseen. Eri istumasektoreilla huomattiin kuitenkin olevan eroja olosuhteissa. Tämä siitäkin huolimatta, että tyytyväisyyden osuuksissa huomattiin eroja eri istumasektoreiden välillä. Tämä huomio kertoo vihjeen siitä, että raikkaus-tunneuserottelu ei kerro vahvasti tyytyväisyydestä.



Kuva 4.13: Kuvaajissa eri menetelmillä määritettyjä tyytyväisten osuuksia lämpöviihtyisyyteen luentosalin eri osissa. AMV-PPD on äänien keskiarvon perusteella laskettu tyytyväisten osuus lämpötiloihin. ASHRAE-hännät ovat ääniä 2,3,-2 ja -3 ASHRAE-lämpötuntemusasteikolla antaneet. Lämpöoloihin tyytymättömät ovat henkilöitä, jotka eivät pitäneet lämpöoloja hyväksyttävinä. Muutosta haluavat ihmiset ovat niitä jotka haluaisivat joko viileämpää tai lämpimämpää.



Kuva 4.14: Kuvaajissa eri menetelmillä määritettyjä tyytyväisten osuuksia lämpöviihtyyteen luentosalin eri osissa. Tunkkaisuus-raikkaus -asteikolta otettiin kaksi eri otosta, joista toisessa on kaikki tunkkaisen puolelle vastanneet ja toisessa on jätetty laskematta tunkkaisen puolelle keskikohdan lähelle vastanneet. Vertailukohtana näille käytetään tyytymättömiä henkilöitä ja painonappivastauksia.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä oli tarkoituksena etsiä menetelmää sisäympäristössä vallitsevan tyytyväisyyden selvittämiseksi. Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuusselvitystä sekä käytännön kokeita menetelmien kokeilemista varten. Tyytyväisyys on pitkälti psykologinen tekijä ja liittyy vahvasti odotusten täyttyminen tasoon. Tutkimus ei ole vielä pystynyt osoittamaan eri sisäympäristön tekijöiden vaikutuksia sisäympäristöstä tehtävään kokonaisarvioon. Tyytyväisyys rakennuksen sisäilmastoon ei ole myöskään pääteltävissä mitatuista olosuhteista, mutta tyytyväisyyttä määrittelevät tekijät ovat pääasiassa lämpöolosuhteet sekä sisäilman laatu.

Tyytyväisyyden määrittämiseen on kehitetty joukko erilaisia ennustemalleja. Osa malleista perustuu ihmisen lämpötaseeseen ja osa ottaa huomioon ihmisen erilaisia adaptoitumistekijöitä. Vaikka yleisesti mallit antavat sivistyneen arvion käyttäjien tyytyväisyydestä, tulevaisuudessa olisi tärkeää saada viihtyisyyksmallit yhdistettyä esimerkiksi energialaskentaohjelmistoihin, jotta viihtyisyyden kannalta hyviä tiloja olisi helppo suunnitella.

Varsinaisen viihtyisyyden selvittämiseksi on turvauduttava sisäilmastoon liittyviin kyselyihin. Ei ole itsestäänselvää tai sattumanvaraista, millaisia kysymyksiä tai asteikoita kyselyissä kannattaa käyttää. Ilman olosuhteiden selvittämiseksi on järkevää käyttää kategorisia vastausvaihtoehtoja esimerkiksi visuaalisanalogisten asteikkoitten sijaan vastausten asteikkoon sitomisen vuoksi sekä vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi.

Sisäilmastokyselyt ovat kehittyneet vuosikymmenien saatossa hieman myös yrityksen ja erehdyksen kautta. Kyselyiden pitkästä historiasta huolimatta mitään varsinaista standardimuotoista kyselyä ei ole olemassa. Tämä antaa vapaammat kädet suunnitella tarkoituksenmukainen selvitys. Resurssisyyistä tavanomainen kysely on yleistävä ja arvioi yleistä tilannetta. Luomalla vakiomallinen ja usein järjestettävä, jatkuva kysely, voidaan havaita esimerkiksi tiloissa tapahtuvia muutoksia. Aktiivinen vastausmäärien ylläpito vaikuttaa kyselyiden käyttökelpoisuuteen.

Ensimmäisessä käytännön kokeilussa kokeiltiin huonekalumaisesti rakennuksessa pidettävää painonappikyselyä. Tämän tyyppisen kyselyn huomattiin olevan soveltumaton käytännön kyselyiden järjestämiseen. Mikäli kyselystä tulee huonekalu ja pääosin samat ihmiset käyttävät tiloja, niin vastausinnokkuus romahtaa. Painonappikyselyllä saatiin vertailtua kiinteistöjä keskenään melko luotettavasti. Tämänäy-

linen kysely voisi sopia samantyyppisten kiinteistöjen vertailuun eri ominaisuuksien osalta.

Toisessa käytännön kokeilussa tablet-tietokoneelle ohjelmoitiin helposti vastattava kysely. Menetelmällä on mahdollista tuoda ennen lähinnä laboratorioissa käytetty juuri nyt -arvioinnin menetelmä oikeisiin tiloihin ja arvion tarkkuus paranee huomattavasti pitkän aikavälin arvioon verrattuna. Hyvin laadituilla paikallisilla kyselyillä päästiin käsiksi käyttäjien lämpötuntemukseen ja kokeiluun. Menetelmää hyödynnettiin tuloksekkaasti olosuhteiden parantamisen vaikutusten arviointiin. Olosuhteita parantaneet toimenpiteet näkyivät selvästi kyselyllä kerätyistä vastauksista. Kokeissa verrattiin kahta erilaista kysymyssarjaa. Suoria olosuhdetuntemuksia kysymällä päästiin selkeämmin käsiksi ongelmien syihin. Toinen kysymyssarja oli rakennusten elinkaarimittareiden menetelmää vastaava. Rakennusten elinkaarimittareiden olosuhdekriteerit vaikuttavat kyselyiden tulosten perusteella liian ankarilta. Vaadittuun yli 75 % tyytyväisyyteen tuskin päästään annetulla menetelmällä kovinkaan monessa kohteessa.

Tampereen teknillisen yliopiston luentosalissa K1704 tutkittiin olosuhteiden muuttumisen vaikutuksia koettuun sisäilmaan. Luentosali oli jaettu eri osiin joiden välisiä eroja selvitettiin. Luentosalin olosuhteiden muuttamisella havaittiin olevan vaikutusta koettuun sisäilmastoon. Kohonnut sisäilman hiilidioksidipitoisuus vaikutti sisäilman kokemiseen, kuten myös paikallinen ilmanvaihdon aiheuttama ilman liike. Sisäilman hyväksyttävyys ja varsinaiset tuntemukset eivät näyttäneet vastaavan toisiaan täysin. Tämän arvellaan johtuvan hyvin vaihtelevista odotuksista ilman laadun suhteen.

Taloteknisessä suunnittelutyössä on helppo käyttää aiemmin hyväksi todettuja arvoja. Aikapaineet tai taidot eivät yleensä salli suunnittelijan kiinnittää huomiota ihmisten viihtyisyyteen. Määräykset kuitenkin ohjaavat suunnittelun päämääräksi terveelliset ja viihtyisät sisäilman olosuhteet. Suunnittelijoiden ymmärrystä viihtyisyyteen vaikuttavista tekijöistä olisi hyödyllistä parantaa. Voisi olla jopa mahdollista käyttää sisäilmaston suunnitteluun asiantuntijaa, joka vastaisi sisäympäristön viihtyisyydestä kokonaisuudessaan, samaan tapaan kuin tietomallikoordinaattori vastaa eri suunnittelualojen tietomallien yhteensopivuudesta. Hyvän sisäilmaston hyödyt ovat kiistattomat sekä taloudellisesti, että sosiaalisesti. Viihtyisyys on tärkeä ”Key performance indicator” ja viihtyisyyden arviointi on suuressa osassa useita rakennusten luokitusjärjestelmiä.

Käytännön kyselyiden järjestämiseen tablet-tietokone on hyvä ja monipuolinen väline. Tietokone mahdollistaa luovuuden käyttämisen, palautteen paikallisuuden sekä vastaamisen helppouden. Suuremmat ongelmat liittyvät kyselyn järjestämisen raskauteen, sillä kyselylaite on vietävä paikalle ihmisvoimin. Internetkysely olisi helppo järjestää, mutta kärsii yleisesti matalista vastausmääristä johtuen interne-

tissä järjestettävien kyselyiden lisääntyneestä määrästä. Lisäksi internetkyselyiden vastauksista on mahdotonta saada paikkaan sidottu.

Palautetta voidaan hyödyntää oikeiden lämpötilojen asetusarvojen löytämiseksi niin lämmityksen kuin jäähdytyksenkin suhteen. Palautteen perusteella voidaan myös esimerkiksi perustella, miksi esimerkiksi ilmamäärien jakaumaa olisi syytä muuttaa. Myös erikoisemmat ongelmat on mahdollista havaita menetelmän monipuolisuuden ansiosta. Tulosten tulkinta on kuitenkin ammattilaisen tehtävä eikä kyselyä voida esimerkiksi liittää automaatiojärjestelmään muuttamaan asetusarvoja automaattisesti.

LÄHTEET

- [1] R ALwaer ja Clements-Croome D.J. Key performance indicators (kpis) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings. *Building and Environment*, 45:799–807, 2010.
- [2] Edward A Arens ja H Zhang. *Thermal and Moisture Transport in Fibrous Materials*, chapter The Skin's Role in Human Thermoregulation and Comfort, ss. 560–602. Woodhead Publishing Ltd, 2006.
- [3] U.S. Army. Ranger & airborne students heat acclimatization guide, 2003.
- [4] ASHRAE. Standard 55-2004. *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 2004.
- [5] James E. Bartlett, Joe W. Kotrlik, ja Chadwick C. Higgins. Organizational research: Determining appropriate sample size in survey research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 19(1):43–50, 2001.
- [6] Birgitta Berglund, Philomena Bluysen, Geo Clausen, Ana Garriga-Trillo, Lars Gunnarsen, Helmut Knöppel, Thomas Lindvall, Lars MacLeod, Patrick Mølhave, ja Gerhard Winneke. Sensory evaluation of indoor air quality. Tekninen raportti, European Commission joint research centre - Environment institute, 1999.
- [7] Tytti Bruce, Petri Jaarto, Risto Kosonen, Antti Lippo, Panu Pasanen, ja Maija Virta. Rakennusten elinkaarimittarit. Tekninen raportti, Green Building Council Finland, 2013.
- [8] Sweden Green Building Council. *Bedömningskriterier för nyproducerade byggnader Manual 2.1*, 2012.
- [9] Richard de Dear ja G. S. Brager. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. Kirjassa *ASHRAE Transactions*, 104(1), ss. 145–167, 1998.
- [10] Richard De Dear ja Gail Schiller Brager. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *Center for the Built Environment*, 1998.
- [11] P.O. Fanger. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30:313–324, 1973.
- [12] European Committee for Standardization. Ergonomics of the thermal environment - assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales, 2001. 18.

- [13] Center for the build environment. Occupant indoor environmental quality (ieq) survey, syyskuu 2014. <http://www.cbe.berkeley.edu/research/survey.htm>.
- [14] M.E. Fountain, E.A Arens, T. Xu, F.S. Bauman, ja M. Oguru. An investigation of thermal comfort at high humidities. Kirjassa *ASHRAE Transactions*, osa 105(2), ss. 94–103, 1999.
- [15] Monika Frontczak ja Pawel Wargocki. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* 46, ss. 922–937, 2011.
- [16] TNS Gallup. Kiinteistöjen sisäolosuhteiden vaikutus opetukseen ja opiskeluun, 2011. Powerpoint esitys.
- [17] Evangelos Grigoroudis ja Yannis Siskos. *Customer Satisfaction Evaluation: Methods for Measuring and Implementing Service Quality*. Springer, 2009. 318.
- [18] Frédéric Haldi. *Towards a Unified Model of Occupants' Behaviour and Comfort for Building Energy Simulation*. Väitöskirja, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 2010.
- [19] Riikka Holopainen. *A human thermal model for improved thermal comfort*. Väitöskirja, Aalto University, 2012.
- [20] Charlie Huizenga, Hui Zhang, ja Edward Arens. An improved multinode model of human physiology and thermal comfort. *Building and Environment*, 36:691–699, 2001.
- [21] Michael A Humphreys. “why did the piggy bark?” some effects of language and context on the interpretation of words used in scales of warmth and thermal preference. Kirjassa *Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge*. Network for Comfort and Energy Use in Buildings, July 2008.
- [22] Michael A Humphreys ja J Fergus Nicol. Do people like to feel "neutral"? response to the ashrae scale of subjective warmth in relation to thermal preference, indoor and outdoor temperature. *ASHRAE Transactions*, 110(2):569–577, 2004.
- [23] M.A. Humpreys. Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable? *Building Research & Information*, 33(4):317–325, 2005.
- [24] Ympäristöministeriö Asunto ja rakennusosasto osasto. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet, 1998.

- [25] Jungsoo Kim ja Richard deDear. Nonlinear relationships between individual ieq factors and overall workspace satisfaction. *Building and Environment*, 49:33–40, 2012.
- [26] R Kosonen ja F Tan. The effect of perceived indoor air quality on productivity loss. *Energy and Buildings*, 36:981–986, 2004. 6 s.
- [27] *Matlab käyttöopas: anova1*.
- [28] Henna Maula. Perceived thermal environment -literature review. Sisäympäristölaboratorio, Suomen Työterveyslaitos, 2012.
- [29] Ian McDowell. *Measuring Health: A Guide to Rating Scales and Questonnaires*. Oxford University Press, third edition laitos, 2006. s. 16.
- [30] Donald A McIntyre. Chamber studies—reductio ad absurdum? *Energy and Buildings*, 5(2):89–96, 1982.
- [31] Asit Kumar Mishra ja Maddali Ramgopal. Field studies on human thermal comfort – an overview. *Building and Environment*, 64:94–106, 2013.
- [32] Fergus Nicol ja Mike Wilson. An overview of the european standard en 15251. Kirjassa *Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, 2010.
- [33] Olli Niemi, Tiina Korhonen, Matti Sivunen, Sakari Kalliomäki, Hannu Myllymaa, Jari Räikkönen, Sakari Kurronen, Timo Kalema, Ari-Pekka Lassila, Ari Johanson, Tomi Anttila, ja Timo Mälkönen. Co2 and learning environments. White Paper.
- [34] Marialena Nikolopoulou, Nick Baker, ja Koen Steemers. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar energy*, 70(3):227–235, 2001.
- [35] P Ole Fanger ja Jørn Toftum. Extension of the pmv model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, 34(6):533–536, 2002.
- [36] B Olesen. Why specify indoor environmental criteria as categories. Kirjassa *NCEUB Conference “Adapting to Change: New Thinking on Comfort”*, Windsor, UK, ss. 9–11, 2010.
- [37] Richard L. Oliver. Effect of expectation and disconfirmation on postexposure product evaluations: An alternative interpretation. *Journal of Applied Psychology*, 1977.

- [38] Richard L Oliver. *Satisfaction: A Behavioral Perspective on the Consumer*. M.E. Sharpe, 1997.
- [39] Robert Parsons. *ASHRAE Handbook Fundamentals 1997*. American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers, 1997.
- [40] Clara Peretti ja Stefano Schiavon. Indoor environmental quality surveys. a brief literature review. *Indoor Air*, 2011.
- [41] Adrian Pitts. The languages and semantics of thermal comfort. Kirjassa *Proceedings of NCEUB Conference*, 2006.
- [42] Steven G. Rogelberg ja Jeffrey M. Stanton. Introduction : Understanding and dealing with organizational survey nonresponse. *Organizational Research Methods*, 10(2):195–209, huhtikuu 2007.
- [43] RYM. Rym sisäympäristö, helmikuu 2014. <http://aedesign.fi/rym/tutkimusohjelmat/sisaymparisto/index.html>.
- [44] Usha Satish. Is co2 an indoor pollutant? direct effects of low to moderate co2 concentrations on human decision? making performance. *Environmental health perspectives*, 2014.
- [45] O Seppala. Measuring indoor climate quality. Tekninen raportti, Aalto yliopisto, 2012. 25 s.
- [46] O. A. Seppanen ja W. J. Fisk. Summary of human responses to ventilation. *Indoor Air*, 14:102–118, 2004.
- [47] Olli Seppänen. *Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto*. LVI-kustannus Oy, 1996.
- [48] Elizabeth Shove, Heather Chappells, Loren Lutzenheiser, ja Bruce Hackett. Comfort in a lower carbon society. *Building Research & Information*, ss. 307–311, 2008.
- [49] Sisailmayhdistys. *Sisailmastoluokitus*, Y. Sisailmayhdistys, 2008.
- [50] M Sivunen, R Kosonen, ja J Kajander. Good indoor environment and energy efficiency increase monetary value of buildings. *REHVA journal*, June 2014.
- [51] Suomen standardoimisliitto. Laadunhallintajärjestelmät. perusteet ja sanasto, 2005. 70.
- [52] Suomen standardoimisliitto. Lämpöolojen ergonomia. lämpömukavuuden analyttinen määrittäminen ja tulkinta käyttäen laskettuja pmv- ja ppd-indeksejä sekä paikallista lämpömukavuutta, 2005. 81.

- [53] Suomen standardoimisliitto. Laadunhallintajärjestelmät. vaatimukset, 2008. 70.
- [54] Suomen standardoimisliitto. Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet, 2008. 81s.
- [55] Suomen standardoimisliitto. Organisaation johtaminen jatkuvaan menestykseen. laadunhallintaan perustuva toimintamalli, 2009. 84.
- [56] Suomen standardoimisliitto. Valo ja valaistus. työkohteiden valaistus. osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus, 2011. 95s.
- [57] Työsuojeluhallinto. Työsuojeluhallinto/lämpöolot, helmikuu 2013. <http://www.tyosuojelu.fi/fi/lampoolot>.
- [58] J Van Hoof. Forty years of fanger's model of thermal comfort: comfort for all? *Indoor Air*, 18:182–201, 2008.
- [59] Pawel Wargocki, David P. Wyon, ja Per Ole Fanger. Productivity is affected by the air quality in offices, 2000.
- [60] Runming Yao, Baizhan Li, ja Jing Liu. A theoretical adaptive model of thermal comfort – adaptive predicted mean vote (apmv). *Building and Environment*, 44:2089–2096, 2009.
- [61] YH Yau ja BT Chew. A review on predicted mean vote and adaptive thermal comfort models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 35(1):23–35, 2014.
- [62] Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012, 2011.

OSA I: täytetään luennon alussa

Millaiseksi arvioit lämpöaistimuksesi?

Kuuma

Lämmin

Lämpimähkö

Neutraali

Viileähkö

Viileä

Kylmä

Millaisena koet lämpötilan?

Selvästi hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri ei hyväksyttävä

Selvästi ei hyväksyttävä

Haluatko että lämpötila on

☐ Korkeampi

☐ Ei muutosta

☐ Matalampi

Millaiseksi arvioit ilman laadun?

Tunkkainen

Raikas

Millaisena koet ilmalaadun?

Selvästi hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri ei hyväksyttävä

Selvästi ei hyväksyttävä

Koetko ilman liikettä ympärilläsi?
(Vetoo)

☐ Kyllä

☐ Ei

Millaisena koet ilman liikkeen?

Selvästi hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri ei hyväksyttävä

Selvästi ei hyväksyttävä

OSA II: täytetään luennon lopussa

Millaiseksi arvioit lämpöaistimuksesi?

Kuuma

Lämmin

Lämpimähkö

Neutraali

Viileähkö

Viileä

Kylmä

Millaisena koet lämpötilan?

Selvästi hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri ei hyväksyttävä

Selvästi ei hyväksyttävä

Haluatko että lämpötila on

☐ Korkeampi

☐ Ei muutosta

☐ Matalampi

Millaiseksi arvioit ilman laadun?

Tunkkainen

Raikas

Millaisena koet ilmalaadun?

Selvästi hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri ei hyväksyttävä

Selvästi ei hyväksyttävä

Koetko ilman liikettä ympärilläsi?
(Vetoo)

☐ Kyllä

☐ Ei

Millaisena koet ilman liikkeen?

Selvästi hyväksyttävä

Juuri hyväksyttävä

Juuri ei hyväksyttävä

Selvästi ei hyväksyttävä